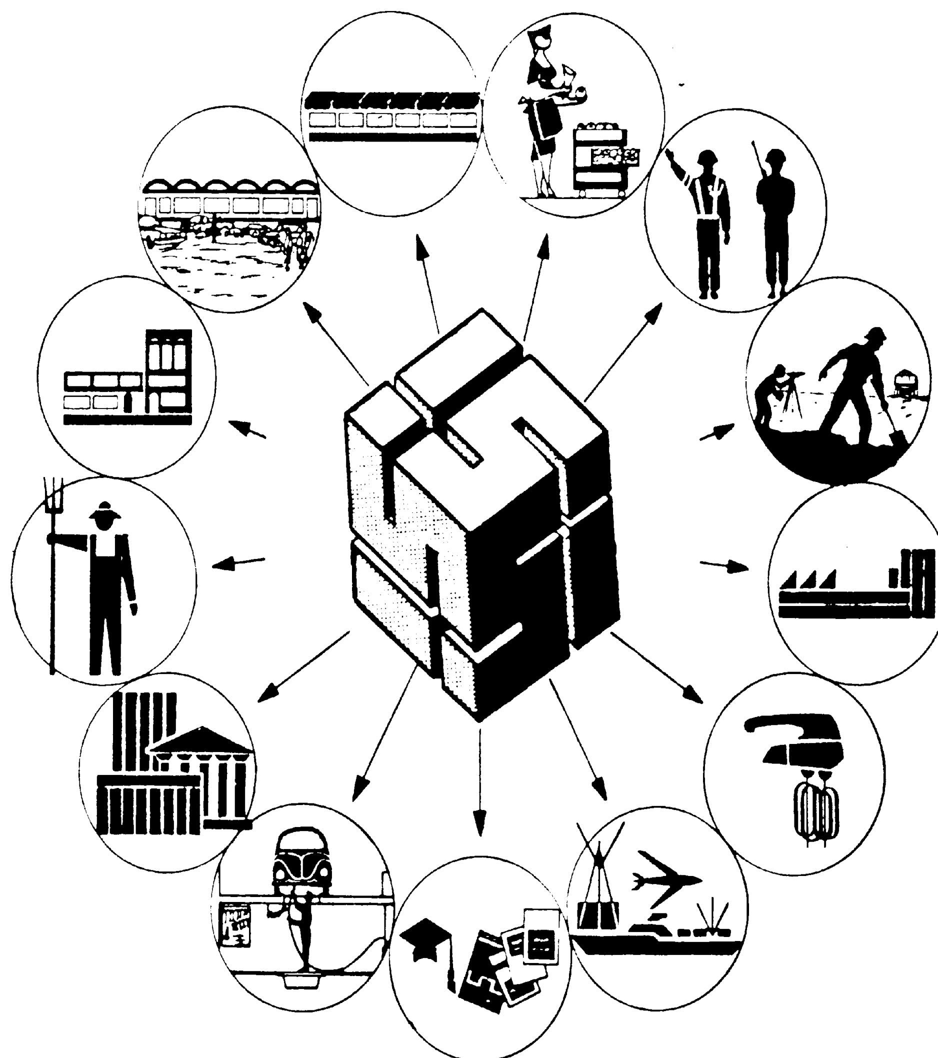


INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION

MIEMBRO DE: ISO, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA LA NORMALIZACIÓN
MIEMBRO DE: SIM, SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGÍA

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES, SI



EDICION - 2009

Información:
QUITO: Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro / Casilla: 17-01-3999 / Teléfonos: (593 2)2501-885 al (593 2)2501-891
Fax (593 2) 2567-815 / E.Mail: furresta@inen.gov.ec
LABORATORIOS: Autopista General Rumiñahui - Puente No. 5 / Teléfonos: (593 2)2343-716 / 2343-379 / 2343-358
Fax: (593 2)2344-394 /
GUAYAQUIL: General Córdova No. 1012 y Av. 9 de Octubre, Edificio San Francisco No. 300, Piso 8, Ofc. 801
Teléfonos: (593 4) 2 300-229 / 2 566-147 / Telefax: (593 4)2313-521 / inenguayas@inen.gov.ec
RIOBAMBA: Lavalle 2320 y Primera Constituyente, Edf. Rivas Carvajal, 2do. Piso, Ofc. 201 / Telefax: (593 3)2965-226
inenriobamba@inen.gov.ec
CUENCA: González Suárez 2579 entre Cumandá y Av. De las Américas Sector Los Eucaliptos Frente a Gasolinera Texaco
Telefax: (593 7)2808-630 / 2 871-685 / inencuenca@inen.gov.ec

Este documento puede obtenerse en la página URL:www.inen.gov.ec

INSTITUCIONES RELACIONADAS CON EL SI

1. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION, INEN

El Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, es una entidad técnica de Derecho Público, con personería jurídica, patrimonio y fondos propios, con autonomía administrativa, económica, financiera y operativa, siendo el organismo técnico nacional competente, en materia de reglamentación, normalización y metrología, en conformidad con lo establecido en las leyes de la República y en tratados, acuerdos y convenios internacionales.

La estructura organizacional para el desarrollo de sus actividades se basan en el Nivel Directivo conformado por el Directorio del INEN, el Nivel ejecutivo ejercido por el Director General, el Nivel Asesor conformado por las Áreas Técnicas de Planificación y Asesoría Jurídica, el Nivel de Apoyo ejercido por el Área Técnica de Desarrollo Institucional y, el nivel Operativo conformado por las Áreas Técnicas de Normalización, Certificación de Calidad, Verificación y Servicios Tecnológicos.

El INEN cuenta con una oficina matriz en la ciudad de Quito y con las Delegaciones Regionales en Guayas, Azuay y Chimborazo y ha establecido un programa de desarrollo de los laboratorios de certificación y Control de Calidad Industrial a través del Centro de Apoyo Tecnológico a la Industria CATI, ubicado en el Valle de los Chillos, Parroquia de Conocoto, con una construcción de 2 200 m^2 y con proyección a 13 000 m^2, en la que funcionan los laboratorios de Metrología, (envase y embalaje, masa, longitud, fuerza, volumen, patrones eléctricos), Verificación Analítica (química, pesticidas, bromatología, cromatografía liquida, cromatografía de gases, espectrofotometría, microbiología, micología, aflatoxinas) y Verificación Física (ensayos mecánicos, recipientes a presión, ensayos no destructivos)

El apoyo a los sectores productivos se traduce en los siguientes servicios que el INEN ofrece:

- *Capacitación y entrenamiento en Normalización Técnica, Calidad Total, Aseguramiento de la Calidad, Metrología, Sistema Internacional de Unidades.*
- *Calibración de aparatos, equipos e instrumentos y básculas camioneras de gran capacidad.*
- *Certificación de cumplimiento con norma o reglamentos técnicos para productos de fabricación y producción nacional, para consumo local o para exportación.*
- *Análisis y ensayos físicos, químicos y microbiológicos para diversos productos.*
- *Auditoría y consultoría para las empresas que deseen obtener certificados de calidad, sello de calidad o lograr una certificación ISO 9 000 o ISO 14 000.*
- *Información sobre normas técnicas, catálogos de normas del INEN, de otros países y de normas internacionales ISO, IEC, CODEX ALIMENTARIUS, ITU, OIML, COPANT, SIM.*

El INEN representa a la República del Ecuador ante los Organismos Internacionales, Regionales y Subregionales de Normalización, Certificación y Metrología, siendo Organismo Miembro de la Organización Internacional de Normalización, ISO; Miembro Pleno de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas, COPANT, del Comité Andino de Normalización, CAN y miembro corresponsal de la Organización Internacional de Metrología Legal, OIML, miembro pleno del Sistema Interamericano de Metrología, SIM y de la Interamerican Acreditation Corporation, IAAC.

2. ORGANIZACION INTERNACIONAL DE NORMALIZACION, ISO

La Organización Internacional de Normalización, ISO, es una federación mundial de Organismos Nacionales de Normalización de más de 157 países. Esta organización no gubernamental se fundó en 1947 y su misión es promover en el mundo el desarrollo de la normalización, con miras a facilitar el intercambio internacional de bienes y servicios y la cooperación para desarrollar las actividades, intelectual, científica, tecnológica y económica de apoyo a la Normalización .

El trabajo de la ISO es publicado como Normas Internacionales.

La existencia de normas no armonizadas para tecnologías similares en diferentes países o regiones, pueden contribuir a las denominadas "barreras tecnológicas al comercio". Las industrias que se dedican a la exportación, tiene una gran necesidad de acuerdos sobre normas mundiales que ayuden a racionalizar el proceso de comercialización internacional. Este fue el origen del establecimiento de la ISO.

Los principios de la Normalización conllevan la facilitación del comercio, el intercambio y la transferencia tecnológica a través de elevar la calidad y el rendimiento de los productos mantener precios razonables, mejorar la salud, la seguridad y la protección ambiental, reducir el desperdicio, facilitar la compatibilidad y la interoperabilidad de los bienes y servicios, la simplificación para mejorar el uso, la reducción del número de modelos, y de costos y el incremento en la eficiencia de distribución y facilidades de mantenimiento.

Los miembros que conforman la ISO se dividen en tres categorías:

a) Organismo Miembro*, que es el organismo de normalización más representativo del país (solo se admite uno por país), y tiene derecho a participar con su voto en cualquier comité técnico y en los comités de políticas de la ISO (El INEN es un Organismo Miembro de la ISO);*

b) Miembros Correspondientes*, que no tienen derecho a voto, pero son informados totalmente de los trabajos de su interés y,*

c) Miembros Subscriptores*, que pagan reducidas membresías para mantenerse en contacto con la normalización internacional.*

El trabajo técnico de la ISO es altamente descentralizado, en la actualidad funcionan 3 093 organismos técnicos (201 comités técnicos, 542 subcomités 2 287 grupos de trabajo y 63 grupos de estudio ad hoc) en los que cada año participan más de 30 000 expertos en las reuniones y están conformados por representantes calificados de las industrias, institutos de investigación, autoridades gubernamentales, organismos de consumidores y organizaciones internacionales.

El trabajo de la ISO, cubre todos los campos de la técnica excepto la ingeniería eléctrica y electrónica, la cual es responsabilidad de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC. El trabajo en el campo de la información es efectuado por el Comité Técnico Conjunto ISO/IEC (JTC 1).

Las normas ISO se desarrollan por consenso tomando en cuenta los puntos de vista de todos los interesados, para toda la industria, dando soluciones globales para satisfacer a las industrias y consumidores a nivel mundial, y son de aplicación voluntaria por todos los interesados. Son aprobadas por el 75% de todos los miembros que votan.

3. ORGANIZACION INTERNACIONAL PARA METROLOGIA CIENTIFICA, BIPM

Un paso a tiempo e importante hacia la uniformidad internacional en mediciones fue la reunión de la Convención del Metro en 1875. Esta convención fundó el Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), el cual sirve como un laboratorio y secretaría internacional, y facilita la colaboración metrológica entre los estados miembros (cuarenta y ocho en 1998). Las actividades del BIPM estuvieron en un principio dirigidas estrictamente a las mediciones de longitud y de masa, pero una cláusula habilitante expedida por la Convención ha permitido a la Carta Constitutiva del BIPM el ser ampliada progresivamente para incluir una escala mucho mayor de responsabilidades.

El Objetivo del BIPM es proporcionar la base física necesaria para asegurar la uniformidad mundial de las mediciones. Por tanto sus principales tareas son:

- *Conservar y difundir la unidad de masa;*
- *Establecer y difundir el tiempo atómico coordinado y en colaboración con las organizaciones astronómicas adecuadas, el Tiempo Universal Coordinado.*

- *Constituir un centro para la comparación de las realizaciones de otras unidades de base o derivadas y para difusión adicional de estas unidades, como sea necesario atender las necesidades de los laboratorios nacionales de metrología. Esto requiere que, en algunas áreas, el BIPM mantenga sus propias realizaciones de ciertas unidades de base o derivadas.*

- *Cuando sea conveniente, determinar constantes físicas estrechamente relacionadas a la definición, realización y difusión de unidades de base o derivadas.*

- *Proporcionar la secretaría científica y administrativa para la Conferencia General de Pesas y Medidas, el Comité Internacional de Pesas y Medidas y los Comités Consultores.*

- *Suministrar cualquier ayuda posible en la organización de aquellas comparaciones internacionales, las cuales, aunque no realizadas en el BIPM, se realicen bajo los auspicios de un Comité Consultor.*

- *Asegurar que los resultados de comparaciones internacionales sean adecuadamente documentados y, si no se publican en otra parte, sean publicados directamente por el BIPM.*

Con el fin de realizar esta tareas eficientemente y al nivel requerido, el BIPM cuenta con personal científico, técnico y administrativo adecuado conjuntamente con equipos, laboratorios, biblioteca, taller y otras facilidades.

4. SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGÍA, SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es el resultado de un amplio acuerdo entre los Institutos de Metrología de todas las 34 naciones miembros de la Organización de Estados Americanos (OEA). Creado para promover la cooperación internacional, particularmente interamericana y regional en la Metrología, el SIM está encargado de la implantación de un sistema Global de Medición dentro de las Américas, en el cual todos los usuarios puedan tener confianza, asegurando la uniformidad de mediciones y fortaleciendo la trazabilidad. Trabajando hacia el establecimiento de un robusto sistema regional de medición, el SIM es esencial para efectuar el desarrollo de una posible área de libre comercio en las Américas (FTAA) y para promover el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI), previendo siempre nuevas necesidades.

En el contexto de la cooperación establecido, las acciones tomadas por los miembros del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) ayudarán a conseguir:

- *El establecimiento de sistemas nacionales y regionales de medición;*
- *el establecimiento de una jerarquía de las normas nacionales de todos los miembros del SIM y el enlace con las normas regionales e internacionales;*
- *el establecimiento de equivalencia entre las normas nacionales de medición y los certificados de calibración y medición expedidos por los laboratorios nacionales de Metrología;*
- *la comparabilidad de los resultados obtenidos de procesos de medición realizados en laboratorios dentro del sistema;*
- *entrenamiento de personal técnico y científico;*
- *la recolección y distribución de documentación técnica y científica;*
- *el enlace con las normas internacionales mantenidas por el Bureau International de Poids et Mesures (BIPM);*
- *estrecha cooperación con la organización internacional para Metrología científica (BIPM) y legal (OIML) y con otras organizaciones internacionales interesadas en acreditación de laboratorios (ILAC, IAAC) y con la tecnología y las normas de medición (IMEKO), investigación y desarrollo (universidades y otras organizaciones), orientadas a fomentar la competitividad, para promover transacciones comerciales más equitativas y para apoyar el desarrollo básico en salud, seguridad, desarrollo industrial sustentable y protección ambiental.*
- *organizado en cinco subregiones a saber: NORAMET (Canadá, México y Estados Unidos), CARIMET (Antigua & Barbuda, Bahamas, Barbados, Dominica, República Dominicana, Granada, Guyana, Haití, Jamaica, Saint Kitts and Nevis, Santa Lucía, San Vicente y Granadinas, Surinam y Trinidad & Tobago) CAMET (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá). ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y SURAMET (Argentina, Brasil, Chile,*

Paraguay y Uruguay), el SIM está encargado del conjunto de las organizaciones de Metrología de 34 países en las Américas y se beneficia de un Consejo de Gobierno estructurado por un Coordinador de cada subregión, un Comité Técnico y un Asesor Técnico permanente, un Comité de Desarrollo Profesional y una representación del Comité Conjunto de las Organizaciones regionales y el BIPM (JCRB), los cuales proporcionan acceso para el SIM en un acuerdo mundial para la comparación de normas y certificados de medición al más alto nivel de la Metrología.

5. ORGANIZACION INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL, OIML

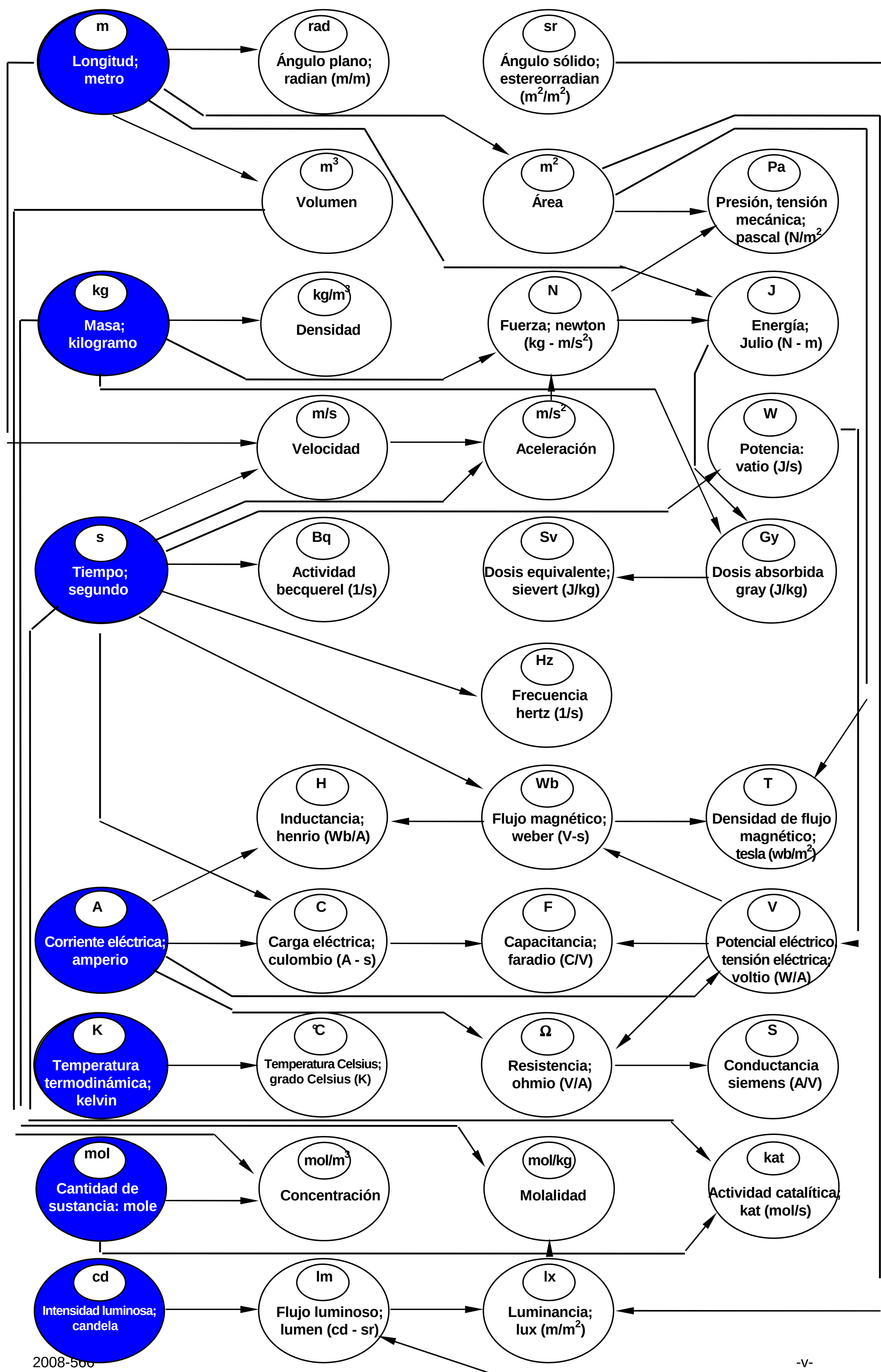
La organización Internacional de Metrología Legal OIML, fue establecida en 1955 con el fin de promover la armonización global de los procedimientos de Metrología Legal. Desde entonces ha desarrollado, una estructura técnica que proporciona a sus miembros, guías metrológicas para la elaboración de requisitos nacionales y regionales concernientes a la fabricación y uso de instrumentos de medición para la aplicación de la Metrología Legal.

La Metrología Legal, es la totalidad de procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por las autoridades públicas e implantados en su representación, con el fin de especificar o asegurar, de una manera reguladora o contractual, la apropiada calidad y credibilidad de las mediciones relacionadas con controles oficiales, comercio, salud, seguridad y medio ambiente.

La OIML es una organización de consenso intergubernamental cuya membresía incluye actualmente como ***estados miembros****, a 59 países que participan activamente en trabajos técnicos y como* ***miembros correspondientes****, a 57 países que se han asociado a la OIML como observadores.*

Los proyectos de recomendaciones y documentos de la OIML se desarrollan por 18 comités y sus respectivos subcomités técnicos, los cuales están formados por los Estados Miembros. Ciertas instituciones internacionales y regionales también participan sobre la base de una consulta. Se han establecido acuerdos cooperativos con organismos internacionales como la ISO e IEC, con el objeto de evitar el establecimiento de requisitos contradictorios.

GRÁFICO DE RELACIONES DEL SI



Sumario

Un sumario conciso del Sistema Internacional de Unidades, el SI.

Metrología es la ciencia de la medición, que abarca todas las mediciones hechas a un nivel conocido de incertidumbre, en cualquier campo de actividad humana.

El Bureau Internacional des Poids et Mesures, el BIPM, fue establecido por el Artículo 1 de la Convención del Metro, el 20 de Mayo de 1875, y está encargado de proporcionar la base para un único y coherente sistema de mediciones para ser usado en todo el mundo. El sistema métrico decimal, vigente desde el tiempo de la Revolución Francesa, estuvo basado en el metro y el kilogramo. Bajo los términos de la Convención de 1875, los nuevos prototipos internacionales del metro y el kilogramo se hicieron y adoptaron formalmente por la primera Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en 1889. Con el tiempo este sistema se desarrolló, de modo que ahora incluye siete unidades de base. En 1960 se decidió en la undécima CGPM que se llamaría el Système International d' Unités (en español: el Sistema Internacional de Unidades). El SI no es estático sino que tiende a armonizar los requisitos de creciente demanda del mundo para mediciones en todos los niveles de precisión y en todas las áreas de ciencia, tecnología y esfuerzo humano. Este documento es un sumario del **Folleto SI**, una publicación del BIPM la cual es una declaración del estado actual del SI.

Las siete unidades de base del SI, enumeradas en la Tabla 1, proporcionan la referencia usada para definir todas las unidades de medición del Sistema Internacional. Conforme avanza la ciencia y los métodos de medición se refinan, sus definiciones tienen que ser revisadas. Mientras más precisas sean las definiciones, se requiere más cuidado en la realización de las unidades de medición.

TABLA 1. ***Las siete unidades de base del SI***

Magnitud	**Unidad, símbolo:** definición de unidad
Longitud	**metro, m:** El metro es la longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío durante 1/ 299 792 458 de un segundo. *De aquí que la velocidad de la luz en el vacío, c_0 es* 299 792 458 m/s *exactamente.*
masa	**kilogramo, kg:** El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo. *De aquí que la masa del prototipo internacional del kilogramo m(K) es siempre* 1 kg *exactamente*
tiempo	**segundo, s:** El segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133. *De aquí que la separación hiperfina en el estado fundamental del átomo de cesio* 133, v(hfs Cs)*, es* 9 192 631 770 Hz *exactamente.*

corriente eléctrica

amperio, A: El amperio es la corriente constante la cual, si se mantiene en dos conductores paralelos rectos de longitud infinita, de sección transversal circular despreciable, y colocados a un metro de distancia el uno del otro en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newtones por metro de longitud.

De aquí que la constante magnética, μ_0 *, también conocida como la permeabilidad del espacio libre es*

$4\pi \times 10^{-7}$ H/ m *exactamente.*

temperatura termodinámica

kelvin, K: El kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción 1/ 273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

De aquí que la temperatura termodinámica del punto triple del agua T_{pta} *, es* 273,16 K *exactamente.*

cantidad de sustancia

mole, mol:

1. La mole es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como hay átomos en 0,012 kilogramos de carbono 12.
2. Cuando se usa la mole, las entidades elementales deben especificarse y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones o grupos especificados de tales partículas.

De aquí que la masa molar de carbono 12, M (^{12}C) *es* 12 g/ mol *exactamente.*

Intensidad luminosa

candela, cd: La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emita radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertzios y que tenga una intensidad radiante en esa dirección de 1/ 683 vatios por estéreorradian.

Las siete **magnitudes de base** correspondientes a las siete unidades de base son longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa. Las **magnitudes de base** y las unidades de base se anotan, con sus símbolos, en la Tabla 2.

TABLA 2 ***Magnitudes de base y unidades de base usadas en el SI***

Magnitud básica	Símbolo	Unidad de base	Símbolo
longitud	*l, h, r, x*	metro	m
masa	*m*	kilogramo	kg
tiempo, duración	*t*	segundo	s
corriente eléctrica	*l, i*	amperio	A
Temperatura termodinámica	*T*	kelvin	K
cantidad de sustancia	*n*	mole	mol
intensidad luminosa	I_{v}	candela	cd

Todas las **otras magnitudes** se describen como **magnitudes derivadas**, y se miden usando **unidades derivadas,** las cuales se definen como productos de potencias de las **unidades de base.** Ejemplos de magnitudes y **unidades derivadas** se anotan en la Tabla 3.

TABLA 3 ***Ejemplos de magnitudes y unidades derivadas***

Magnitud derivada	Símbolo	Unidad derivada	Símbolo
área	A	metro cuadrado	m^2
volumen	V	metro cúbico	m^3
velocidad	v	metro por segundo	m/s
aceleración	α	metro por segundo al cuadrado	m/s^2
número de onda	$\sigma, \tilde{V}$	metro recíproco	m^{-1}
densidad de masa	ρ	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
densidad de superficie	ρ_A	kilogramo por metro cuadrado	kg/m^2
volumen específico	v	metro cúbico por kilogramo	m^3/kg
densidad de corriente	j	amperio por metro cuadrado	A/m^2
resistencia de campo magnético	H	amperio por metro	A/m
concentración magnético	c	mole por metro cúbico	mol/m^3
concentración de masa	ρ, γ	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
luminancia	L_v	candela por metro cuadrado	cd/m^2
índice de refracción	n	uno	1
permeabilidad relativa	μ_r	uno	1

Anotar que el índice de refracción y la permeabilidad relativa son ejemplos de magnitudes adimensionales, por lo cual la unidad SI es el número uno 1, aunque esta unidad no se escribe.

Algunas **unidades derivadas** reciben un **nombre especial**, siendo éstos simplemente una forma compacta para la expresión de combinaciones de **unidades de base** que se usan frecuentemente. Así por ejemplo, el julio, símbolo J, es por definición igual a m^2 kg s^{-2}. Hay 22 nombres especiales para unidades aprobadas en el SI al presente, y éstas se presentan en la Tabla 4.

TABLA 4 ***Unidades derivadas con nombres especiales en el SI***

Magnitud derivada	Nombre de Unidad derivada	Símbolo de unidad	Expresión en términos de otras unidades
ángulo plano	radian	rad	m/m = 1
ángulo sólido	estéreorradian	sr	$m^2/m^2 = 1$
frecuencia	hertzio	Hz	s^{-1}
fuerza	newton	N	m kg s^{-2}
presión, tensión	pascal	Pa	$N/m^2 = m^{-1}$ kg s^{-2}
energía, trabajo cantidad de calor	julio	J	Nm = m^2 kg s^{-2}
potencia, flujo radiante	vatio	W	J/s = m^2 kg s^{-3}
carga eléctrica, magnitud de electricidad	culombio	C	s A
diferencia de potencial eléctrico	voltio	V	W/A = m^2 kg s^{-3} A^{-1}
capacitancia	faradio	F	C/V = m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2
resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V/A = m^2 kg s^{-1} A^{-2}
conductancia eléctrica	siemens	S	A/V = m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2

Magnitud derivada	Nombre de Unidad derivada	Símbolo de unidad	Expresión en términos de otras unidades
flujo magnético	Weber	Wb	V s = m^2 kg s^{-2} A^{-1}
densidad de flujo magnético	tesla	T	Wb/m^2 = kg s^{-2} A^{-1}
inductancia	henrio	H	Wb/A = m^2 kg s^{-2} A^{-2}
temperatura Celsius	grado Celsius	°C	K
flujo luminoso	lumen	lm	cd sr = cd
iluminación	lux	lx	lm/m^2 = m^{-2} cd
actividad referida a un radionuclido	becquerel	Bq	s^{-1}
dosis absorbida, energía específica (impartida), kerma	gray	Gy	J/kg = m^2 s^{-2}
dosis equivalente, dosis ambiental equivalente	sievert	Sv	J/kg = m^2 s^{-2}
actividad catalítica	katal	kat	s^{-1} mol

Aunque el hertzio y el becquerel son iguales al segundo recíproco, el hertzio se usa solo para fenómenos cíclicos y el becquerel para procesos de hipótesis en deterioro radioactivo.

La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius, °C, el cual es igual en magnitud al kelvin, K, la unidad de temperatura termodinámica. La magnitud temperatura Celsius *t* está relacionada con la temperatura termodinámica por la ecuación t/°C = T/ K – 273,15.

El sievert también se usa para la dosis equivalente direccional de las magnitudes y la dosis equivalente personal.

Los últimos cuatro nombres especiales para las unidades de la Tabla 4 fueron adoptados específicamente para salvaguardar las mediciones relacionadas con la salud humana.

Para cada magnitud hay solo una unidad SI (aunque ésta puede expresarse en diferentes formas usando los nombres especiales). Sin embargo, la misma unidad SI puede usarse para expresar los valores de varias magnitudes diferentes (por ejemplo, la unidad SI J/K puede usarse para expresar el valor tanto de capacidad de calor como de entropía). Es por tanto importante no usar la unidad sola para especificar la magnitud. Esto se aplica a los textos científicos y también a los instrumentos de medición (es decir, la lectura de un instrumento debería indicar la magnitud en cuestión y la unidad).

Las magnitudes adimensionales, también llamadas magnitudes de dimensión uno, se definen usualmente como la relación de dos magnitudes de la misma clase (por ejemplo, índice de refracción es la relación de dos velocidades, y la permisividad relativa es la relación de la permisividad de un medio dieléctrico a aquel del espacio libre). Así la unidad de una magnitud adimensional es la relación de dos unidades SI idénticas, y es por tanto siempre igual a uno. Sin embargo, al expresar los valores de las magnitudes adimensionales la unidad uno, 1, no se escribe.

Múltiplos y sub-múltiplos decimales de las unidades SI.

Un grupo de prefijos ha sido adoptado para uso con las unidades SI, con el fin de expresar los valores de las **magnitudes** que son sea mucho más grandes o mucho más pequeñas que la unidad SI usada sin ningún prefijo. Los prefijos SI están anotados en la Tabla 5. Ellos pueden usarse con alguna de las **unidades de base** y con alguna de las **unidades derivadas** con nombres especiales.

TABLA 5 ***Los prefijos SI***

Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^{1}	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^{2}	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^{3}	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^{6}	mega	M	10^{-6}	micro	µ
10^{9}	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Cuando se usan los prefijos, el nombre del prefijo y el nombre de la unidad se combinan para formar una sola palabra, y así mismo el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad se escriben sin ningún espacio para formar un solo símbolo, el cual puede elevarse a cualquier potencia. Por ejemplo, nosotros podemos escribir: kilómetro, km; microvoltio, µV; femtosegundo, fs; $50\ \mathrm{V/cm} = 50\ \mathrm{V}(10^{-2}\ \mathrm{m})^{-1} = 5000\ \mathrm{V/m}$.

Cuando las **unidades de base** y las **unidades derivadas** se usan sin ningún prefijo, el grupo de unidades resultante se describe como **coherente**. El uso de un grupo coherente de unidades tiene ventajas técnicas (ver el **Folleto SI**). Sin embargo, el uso de los prefijos es conveniente por cuanto evita la necesidad de usar factores de 10^{n} para expresar los valores de magnitudes muy grandes o muy pequeñas. Por ejemplo, la longitud de una adhesión química se da más convenientemente en nanómetros, nm, que en metros, m, y la distancia de Londres a París se da más convenientemente en kilómetros, km, que en metros, m.

El kilogramo, kg, es una excepción, por cuanto aunque es una **unidad de base**, el nombre ya incluye un prefijo por razones históricas. Los múltiplos y sub-múltiplos del kilogramo se escriben combinando los prefijos con el gramo: así nosotros escribimos miligramo, mg, no microkilogramo, µkg.

Unidades ajenas al SI

El SI es el único sistema de unidades que está reconocido universalmente, de modo que tiene una marcada ventaja para establecer un diálogo internacional. Otras unidades, es decir, ajenas al SI, se definen generalmente en términos de las unidades SI. El uso del SI también simplifica la enseñanza de la ciencia. Por todas estas razones el uso de las unidades SI se recomienda en todos los campos de la ciencia y de la tecnología.

Sin embargo algunas unidades ajenas al SI se usan todavía ampliamente. Unas pocas, tales como el minuto, la hora y el día como unidades de tiempo, se usarán siempre por cuanto están profundamente introducidas en nuestra cultura. Otras se usan por razones históricas, para atender las necesidades de grupos especiales de interés, o por cuanto no hay una alternativa conveniente en el SI. Siempre se mantendrá la prerrogativa de un científico para usar las unidades que se consideran mejor adecuadas para el propósito. No obstante, cuando se usan las unidades ajenas al SI, el factor de conversión al SI debería siempre mencionarse. Unas pocas unidades ajenas al SI se anotan en la Tabla 6 a continuación con sus factores de conversión al SI. Para una lista más completa, ver el **Folleto SI**, o el sitio Web de BIPM.

TABLA 6. ***Unas pocas unidades ajenas al SI***

Magnitud	Unidad	Símbolo	Relación con el SI
tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 3600 s
	día	d	1 d = 86 400 s
volumen	litro	L o l	1 L = 1 dm^3
masa	tonelada	t	1 t = 1000 kg
energía	electronvoltio	eV	1 eV = 1,602 x 10^{-19} J
presión	bar	bar	1 bar = 100 kPa
	milímetros de mercurio	mmHg	1 mmHg = 133,3 Pa
longitud	ángström	Å	1 Å = 10^{-10} m
	milla náutica	M	1 M = 1852 m
fuerza	dina	din	1 din = 10^{-5} N
energía	ergio	erg	1 erg = 10^{-7} J

Los símbolos para unidades comienzan con una letra mayúscula cuando se llaman así por una persona (por ejemplo, amperio, A; kelvin, K; hertzio, Hz; culombio, C). De otro modo siempre comienzan con una letra minúscula (por ejemplo, metro, m; segundo, s; mole, mol). El símbolo para el litro es una excepción: sea una letra minúscula o una L mayúscula pueden usarse en este caso para evitar la confusión entre la letra l minúscula y el número uno, 1.

El símbolo para una milla náutica se da aquí como M; sin embargo no hay un acuerdo general sobre un símbolo para milla náutica.

El lenguaje de la ciencia: Uso del SI para expresar los valores de las magnitudes.

El valor de una magnitud como el producto de un número y una unidad, y el número que multiplica la unidad es el valor numérico de la magnitud en esa unidad. Siempre se deja un espacio entre el número y la unidad. Para magnitudes adimensionales, para las cuales la unidad es el número uno, se omite la unidad. El valor numérico depende de la selección de la unidad, de modo que el mismo valor de una magnitud puede tener diferentes valores numéricos cuando se expresa en diferentes unidades, como en los ejemplos siguientes.

La velocidad de una bicicleta es aproximadamente
v = 5,0 m/ s = 18 km/ h.
la longitud de onda de una de las líneas de sodio amarillo es
λ = 5,896 x 10^{-7} m = 589,6 nm.

Los símbolos de magnitud se imprimen en letra cursiva, y generalmente son letras sueltas del alfabeto griego o latino. Pueden usarse letras mayúsculas o minúsculas, y puede añadirse información sobre la magnitud como una nota de pie o entre paréntesis.

Hay símbolos recomendados para muchas magnitudes, dados por autoridades como ISO (Organización Internacional de Normalización) y diversas uniones científicas internacionales como IUPAP y IUPAC. Ejemplos son:

T para temperatura
C_p para capacidad de calor a presión constante
x_i para la fracción de mole (cantidad de fracción) de la especie i
μ_r para permeabilidad relativa
$m(k)$ para la masa del prototipo internacional del kilogramo k

Los símbolos de unidades se imprimen en letras de tipo romano (vertical), aparte del tipo usado en el texto circundante. Ellos son entidades matemáticas y no abreviaturas; Nunca están seguidos por un punto (excepto al fin de una frase) ni por una s para el plural. El uso de la forma correcta para símbolos de unidades es obligatorio, y está ilustrado por los ejemplos en el **Folleto SI**. Los símbolos de unidades

pueden a veces ser de más de una sola letra. Se escriben en letras minúsculas, excepto si la primera letra es mayúscula cuando se refiere al nombre de una persona. Sin embargo, cuando el nombre de una unidad se deletrea debe comenzar con una letra minúscula (excepto al comienzo de una frase), para distinguir la unidad de la persona.

Al escribir el valor de una magnitud como el producto de un valor numérico y una unidad, tanto el número como la unidad deben tratarse por las reglas ordinarias del álgebra. Por ejemplo, la ecuación T = 293 K puede igualmente escribirse T / K = 293.

Este procedimiento se describe como el uso de cálculo de magnitud, o el álgebra de magnitudes. A menudo es útil usar la relación de una magnitud a su unidad para encabezar las columnas de tablas, o rotular los ejes de los gráficos, de modo que las entradas en la tabla o los rótulos o las marcas en los ejes sean todas números simples. El ejemplo a continuación muestra una tabla de presión de vapor como una función de temperatura recíproca con las columnas rotuladas de esta manera.

T/K	10^3 K/T	p/MPa	ln(p/MPa)
216,55	4,6179	0,5180	0,6578
273,15	3,6610	3,4653	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Formas equivalentes algébricamente pueden usarse en lugar de 10^3 K/T, tales como kK/T, o 10^3 (T/K)$^{-1}$.

Al formar productos o cocientes de unidades se aplican las reglas normales del álgebra. Al formar productos de unidades, debe dejarse un espacio entre las unidades (o alternativamente puede usarse un punto centrado a media altura como símbolo de multiplicación). Anotar la importancia del espacio, por ejemplo, m s indica el producto de un metro por un segundo, pero ms indica un milisegundo. También, cuando se forman productos complicados de unidades, usar paréntesis o exponentes negativos para evitar ambigüedades. Por ejemplo, la constante de gas molar R se da por

$pV_m/T = R$ = 8,314 Pa m^3 mol^{-1} $K^{-1.}$
= 8,314 Pa m^3 (mol K)

Cuando se anotan números la marca decimal puede ser ya sea un punto (es decir una parada) o una coma, según las circunstancias. Para documentos en idioma inglés es usual un punto, pero para muchos idiomas europeos continentales y en otros países es usual una coma.

Cuando un número tiene muchos dígitos, se acostumbra reunir los dígitos en grupos de tres alrededor de la marca decimal para facilitar la lectura. Esto no es esencial, pero se hace a menudo, y es generalmente conveniente. Cuando se hace así, los grupos de tres dígitos deben separarse por un espacio (pequeño); ni un punto ni una coma deben usarse. La incertidumbre en el valor numérico de una **magnitud** a menudo puede ser convenientemente indicada dando la incertidumbre en los dígitos menos significativos entre paréntesis después del número.

Ejemplo: El valor de la carga elemental se da en la lista CODATA 2002 de constantes fundamentales como

e = 1,602 176 53 (14) x 10^{-19} C,

donde 14 es la incertidumbre normal en los dígitos finales citados por el valor numérico.

Para información adicional ver el sitio Web de BIPM, o la octava edición del **Folleto SI,** la cual está disponible en

http: www.bipm.org

Bureau International
des Poids et Mesures.

El Sistema Internacional de Unidades (SI)

Octava edición 2006

Organisation Intergouvernementale de la Convention du Métre

Nota sobre el uso del texto en inglés

Para hacer su trabajo más ampliamente accesible, el Comité Internacional de Pesas y Medidas ha decidido publicar una versión inglesa de sus informes. Los lectores deben anotar que el registro oficial es siempre el del texto en francés. Este debe ser usado cuando se requiere una referencia autorizada o cuando hay duda acerca de la interpretación del texto.

Las traducciones, completas o parciales, de este documento (o de sus ediciones anteriores) han sido publicadas en varios idiomas, notablemente en alemán, búlgaro, coreano, checo, chino, español, inglés, japonés, portugués y rumano. La ISO y numerosos comités también han publicado normas y guías para el uso de las unidades SI.

El BIPM
y la Convención del Metro

El Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) fue establecido por la Convención del Metro firmada en París el 20 de Mayo de 1875 por diecisiete estados durante la sesión final de la Conferencia Diplomática del Metro. Esta convención fue enmendada en 1921.

Al 31 de Diciembre de 2005 , cincuenta y un estados eran miembros de esta Convención: Alemania, Argentina, Australia, Austria, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Camerún, Canadá, Chile, China, Dinamarca, Egipto, Eslovaquia, España, Estados Unidos, Federación Rusa, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, India, Indonesia, Irán (Rep. islámica de), Irlanda, Israel, Italia, Japón, Korea (Rep. Democrática de) , Korea (Rep. de), Malasia, México, Nueva Zelanda, Noruega, Pakistán, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, República Dominicana, Rumania, Serbia y Montenegro, Singapur, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Tailandia, Turquía, Uruguay y Venezuela.

El BIPM tiene sus oficinas centrales cerca de París, en los terrenos (43 520 m^2) del Pabellón de Breteuil (Parque de Saint Cloud) puesto a su disposición por el gobierno francés; su mantenimiento es financiado conjuntamente por los estados miembros de la Convención del Metro.

La tarea del BIPM es asegurar la unificación mundial de las mediciones; así, su función es:

- establecer normas y escalas fundamentales para la medición de las principales magnitudes físicas y mantener los prototipos internacionales;
- realizar comparaciones de patrones nacionales e internacionales;
- asegurar la coordinación de técnicas correspondientes de medición;
- realizar y coordinar mediciones de las constantes físicas fundamentales correspondientes a estas actividades

El BIPM opera bajo la exclusiva supervisión del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) el cual a su vez está bajo la autoridad de la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) e informa a ésta sobre el trabajo cumplido por el BIPM.

Veinte Estados y Economías fueron asociados de la Conferencia General: Bielorrusia, CARICOM, Costa Rica, Croacia, Cuba, Ecuador, Eslovenia, Estonia, Filipinas, Hong Kong (China) , Jamaica, Kazajstán, Kenia, Letonia, Lituania, Malta, Panamá, Taiwán, Ucrania, Viet Nam.

Los delegados de todos los estados miembros de la Convención del Metro asisten a la Conferencia General, la cual, al presente, se reúne cada cuatro años. La función de estas reuniones es:

- discutir e iniciar las disposiciones requeridas para asegurar la propagación y mejoramiento del Sistema Internacional de Unidades (SI), el cual es la versión moderna del sistema métrico;
- confirmar los resultados de nuevas determinaciones metrológicas fundamentales y varias resoluciones científicas de alcance internacional;
- tomar todas las decisiones importantes concernientes a las finanzas, organización y desarrollo del BIPM.

El CIPM tiene dieciocho miembros cada uno de un estado diferente; al presente, se reúne cada año. Los funcionarios del Comité presentan un informe anual sobre la posición administrativa y financiera del BIPM a los gobiernos de los estados miembros de la Convención del Metro. La principal tarea del CIPM es asegurar uniformidad mundial en unidades de medición. Esta se hace por acción directa o presentando propuestas a la CGPM.

Las actividades del BIPM, las cuales inicialmente estuvieron limitadas a mediciones de longitud y masa, y a estudios metrológicos en relación a estas magnitudes, se han extendido a normas de medición de electricidad (1927), fotometría y radiometría (1937), radiación ionizante (1960), escalas de tiempo (1988) y a química (2000). Para este fin los laboratorios originales, construidos de 1876 a 1878, fueron ampliados en 1929; nuevos edificios fueron construidos de 1963 a 1964 para los laboratorios de radiación ionizante, en 1984 para el trabajo de láser y en 1988 para una biblioteca y oficinas. En 2001 se abrió un nuevo edificio para el taller, oficinas y salas de reunión.

Unos cuarenta y cinco físicos y técnicos trabajan en los laboratorios del BIPM. Principalmente conducen investigación metrológica, comparaciones internacionales de realizaciones de unidades y calibraciones de patrones. Un informe anual, el *Informe del Director sobre la Actividad y Gerencia del Bureau International des Poids et Mesures,* da detalles del trabajo en progreso.

Siguiendo la extensión del trabajo confiado al BIPM en 1927, el CIPM ha establecido organismos conocidos como comités consultivos, cuya función es proveerle de información sobre materias que les remite para estudio y asesoría. Estos comités consultivos, que pueden conformar grupos de trabajo temporales o permanentes para estudiar tópicos especiales, son responsables de coordinar el trabajo internacional realizado en sus respectivos campos y de proponer recomendaciones a las unidades respectivas del CIPM.

Los comités consultivos tienen reglamentos comunes (*BIPM Proc. –Verb. Com. Int .Poids et Mesures*, 1963, **31**, 97). Se reúnen a intervalos irregulares. El presidente de cada comité consultivo es designado por el CIPM y es normalmente un miembro del CIPM. Los miembros de los comités consultivos son laboratorios de metrología e institutos especializados, aceptados por el CIPM, los cuales envían delegados de su selección. Adicionalmente, hay miembros individuales nombrados por el CIPM, y un representante del BIPM (Criterios para membresía de comités consultivos, *BIPM Proc. Verb. Com. Int. Poids et Mesures,* 1996, **64**, 124). Al presente, hay diez de dichos comités:

1. El Comité Consultivo para Electricidad y Magnetismo (CCEM), nuevo nombre dado en 1997 al Comité Consultivo para Electricidad (CCE) establecido en 1927;

2. El Comité Consultivo para Fotometría y Radiometría (CCPR), nuevo nombre dado en 1971 al Comité Consultivo para Fotometría (CCP) establecido en 1933 (entre 1930 y 1933 el CCE trató con materias concernientes a fotometría);

3. El Comité Consultivo para Termometría (CCT), establecido en 1937;

4. El Comité Consultivo para Longitud (CCL), nuevo nombre dado en 1997 al Comité Consultivo para la Definición del Metro (CCDM), establecido en 1952;

5. El Comité Consultivo para Tiempo y Frecuencia (CCTF), nuevo nombre dado en 1997 al Comité Consultivo para la Definición del Segundo (CCDS) establecido en 1956;

6. El Comité Consultivo para Radiación Ionizante (CCRI), nuevo nombre dado en 1997 al Comité Consultivo para Normas de Radiación Ionizante (CCEMRI) establecido en 1958 [en 1969 este comité estableció cuatro secciones: Sección I (Rayos X y γ, electrones),
   Sección II (Medición de radionuclidos), Sección III (Mediciones de neutrón), Sección IV (α – patrones de energía); en 1975 esta última sección fue disuelta y la Sección II se hizo responsable de este campo de actividad].

7. El Comité Consultivo para Unidades (CCU) establecido en 1964 (este Comité reemplazó a la Comisión para el Sistema de Unidades creada por el CIPM en 1954);

8. El Comité Consultivo para Masa y Magnitudes Relacionadas (CCM), establecido en 1980;

9 El Comité Consultivo para Cantidad de Sustancia: Metrología en Química (CCQM), establecido en 1993;

10 El Comité Consultivo para Acústica, Ultrasonido y Vibración (CCAUV) establecido en 1999.

Los procedimientos de la Conferencia General y del CIPM se publican por el BIPM en la siguiente serie:

- *Informe de la reunión de la Conferencia General sobre Pesas y Medidas;*
- *Informe de la reunión del Comité Internacional para Pesas y Medidas.*

El CIPM decidió en 2003 que los informes de las reuniones de los Comités Consultivos ya no sean impresos, sino ubicados en el sitio Web del BIPM, en su idioma original.

El BIPM también publica monografías sobre temas metrológicos especiales y bajo el título de Sistema Internacional de Unidades (SI), un folleto, periódicamente actualizado, en el cual se reúnen todas las decisiones y recomendaciones concernientes a las unidades.

La colección de los *Travaux et Memoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 volúmenes publicados entre 1881 y 1966) y el *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (11 volúmenes publicados entre 1966 y 1988) cesó por una decisión del CIPM.

El trabajo científico del BIPM se publica en la literatura científica abierta y una lista anual de publicaciones aparece en el *Informe del Director sobre la Actividad y Administración del Buró Internacional de Pesas y Medidas.*

Desde 1965 *Metrología,* una revista internacional publicada bajo los auspicios del CIPM, ha impreso artículos que tratan de metrología científica, mejoramientos en sistemas de medición, trabajos sobre patrones y unidades, tanto como informes sobre las actividades, decisiones y recomendaciones de los diferentes organismos creados bajo la Convención del Metro.

Prólogo a la Octava Edición

Tenemos el agrado de presentar la octava edición de esta publicación, comúnmente llamada el folleto SI, el cual define y presenta el Sistema Internacional de Unidades. Este folleto se publica como una copia impresa, y está también disponible en forma electrónica en www.bipm.org/en/si/si brochure/.

Desde 1970, el Buró Internacional de Pesas y Medidas, o BIPM, ha publicado siete ediciones previas de este documento. Su principal propósito es definir y promover el SI, el cual ha sido usado al rededor del mundo como el idioma preferido de la ciencia y la tecnología desde su adopción en 1948 mediante una resolución de la novena Conferencia General de Pesas y Medidas, o CGPM.

El SI es, por supuesto, un sistema vivo el cual desarrolla y refleja la mejor práctica actual de medición. Esta octava edición por tanto contiene un número de cambios desde la edición previa. Como antes, enumera las definiciones de todas las unidades de base, y todas las resoluciones y recomendaciones de la Conferencia General de Pesas y Medidas y el Comité Internacional de Pesas y Medidas, relacionadas con el Sistema Internacional de Unidades. Referencia formal a las decisiones de CGPM y CIPM puede encontrarse en los sucesivos volúmenes de las *Comptes Rendus* de la CGPM (CR) y los *Procès Verbaux* del CIPM (PV); muchos de éstos se enumeran también en *Metrología.* Para simplificar el uso práctico del sistema, el texto proporciona explicaciones de estas decisiones, y el primer capítulo proporciona una introducción general para establecer un sistema de unidades y para el SI en particular. Las definiciones y las realizaciones prácticas de todas las unidades se consideran también en el contexto de relatividad general. Una breve discusión de las unidades asociadas con magnitudes biológicas se ha presentado por primera vez.

El Apéndice presenta unidades usadas para medir efectos actínicos en materiales biológicos.

El Comité Consultivo de Unidades del CIPM, o CCU, ha sido responsable de preparar este documento, y tanto el CCU como el CIPM han aprobado el texto final. Esta octava edición es una revisión de la séptima edición (1998) y toma en consideración las decisiones del CGPM y del CIPM desde que se publicó la séptima edición.

Por más de treinta y cinco años este documento ha sido usado como un trabajo de referencia en muchos países, organizaciones y uniones científicas. Para hacer su contenido accesible a un mayor número de lectores, el CIPM decidió, en 1985, incluir una versión en inglés del texto en la quinta edición; esta doble presentación ha continuado en todas las ediciones posteriores. Para la primera versión en inglés el BIPM se esmeró en producir una fiel traducción del original en francés por estrecha colaboración con el National Physical Laboratory (Teddington, Reino Unido) y el National Institute of Standards and Technology (Gaithesburg, PA, Estados Unidos), en ese tiempo el National Bureau of Standards. Para la presente edición las versiones en francés e inglés fueron preparadas por el CCU en estrecha colaboración con el BIPM.

Los lectores deberían anotar que el registro oficial es siempre el del texto en francés. Este debe usarse cuando se requiere una referencia autorizada o cuando hay dudas en la interpretación del texto.

Marzo de 2006

1. Introducción

1.1 Magnitudes y unidades

El valor de una magnitud se expresa generalmente como el producto de un número y una unidad. La unidad es simplemente un ejemplo particular de la magnitud considerada como una referencia, y el número es la relación del valor de la magnitud al de la unidad. Para una magnitud particular, pueden usarse muchas unidades diferentes. Por ejemplo, la velocidad v de una partícula puede expresarse en la forma v = 25 m/s = 90 km/h, donde los metros por segundo y los kilómetros por hora son unidades alternativas para expresar el mismo valor de la magnitud velocidad. Sin embargo, a causa de la importancia de un grupo de unidades bien definidas y fácilmente accesibles acordadas universalmente para la multitud de mediciones que soportan la compleja sociedad de hoy, las unidades deberían ser escogidas de modo que sean realmente disponibles para todos, sean constantes a través del tiempo y el espacio, y sean fáciles de reconocer con alta precisión.

Los términos **magnitud** y **unidad** están definidos en el *Vocabulario Internacional de Términos Básicos y Generales en Metrología*

Con el fin de establecer un sistema de unidades, tal como el Sistema Internacional de Unidades, el SI, es necesario establecer primero un sistema de magnitudes, incluyendo un grupo de ecuaciones que definan las relaciones entre esas magnitudes. Esto es necesario por cuanto las ecuaciones entre las magnitudes determinan las ecuaciones relacionadas con las unidades, como se describe a continuación. Es también conveniente escoger definiciones para un pequeño número de unidades que llamamos *unidades de base*, y luego definir unidades para todas las otras magnitudes como productos de las posibilidades de las unidades de base que llamamos *unidades derivadas.* De una manera similar las magnitudes correspondientes se describen como magnitud*es de base* y magnitud*es derivadas*, y las ecuaciones que dan las magnitudes derivadas en términos de las magnitudes de base se usan para determinar la expresión para las unidades derivadas en términos de las unidades de base, como se discute más adelante en la Sección 1.4. Así en un desarrollo lógico de este tema, la selección de magnitudes y las ecuaciones relacionadas con las magnitudes viene primero, y la selección de las unidades viene después.

La magnitud velocidad, v, puede expresarse en términos de las magnitudes distancia, x, y tiempo, t, por la ecuación
$v = dx/dt$
En la mayoría de sistemas de magnitudes y unidades, la distancia x y el tiempo t se consideran como magnitudes de base, para las cuales el metro, m, y el segundo, s, pueden escogerse como unidades de base. La velocidad v se toma entonces como una magnitud derivada, con la unidad derivada metro por segundo, m/s.

Desde un punto de vista científico, la división de magnitudes en magnitudes de base y magnitudes derivadas es una materia de convención, y no es esencial a la física del sujeto. Sin embargo para las unidades correspondientes, es importante que la definición de cada unidad de base se haga con particular cuidado, para satisfacer los requisitos establecidos en el primer párrafo de este capítulo, ya que ellas proporcionan el fundamento para todo el sistema de unidades. Las definiciones de las unidades derivadas en términos de las unidades de base siguen luego de las ecuaciones que definen las magnitudes derivadas en términos de las magnitudes de base. Así el establecimiento de un sistema de unidades, el cual es el tema de este folleto, está íntimamente conectado con las ecuaciones algébricas relacionadas con las magnitudes correspondientes.

Por ejemplo, en electroquímica, la movilidad eléctrica de un ion, u, está definida como la relación de su velocidad v a la intensidad del campo eléctrico, E : $u = v/E$,.
La unidad derivada de movilidad eléctrica está entonces dada como (m/s)/(V/m) = $m^2\ V^{-1}\ s^{-1}$, en unidades que pueden ser fácilmente relacionadas a las unidades de base escogidas (V es el símbolo para la unidad derivada SI voltio).

El número de magnitudes derivadas de interés en la ciencia y la tecnología puede, por supuesto, extenderse sin límite. Tal como se desarrollan nuevos campos de la ciencia, nuevas magnitudes son ideadas por los investigadores para representar los intereses del campo, y con estas nuevas magnitudes vienen nuevas ecuaciones que las relacionan con aquellas magnitudes que fueron previamente familiares, y de aquí finalmente con las magnitudes de base. De esta manera las unidades derivadas para ser usadas con las nuevas magnitudes pueden siempre definirse como productos de potencias de las unidades de base previamente escogidas.

1.2 El Sistema Internacional de Unidades (SI) y el correspondiente sistema de magnitudes

Este folleto está destinado a presentar la información necesaria para definir y usar el Sistema Internacional de Unidades, universalmente conocido como el SI (del francés *Systeme International d´Unités*). El SI fue establecido y está definido por la Conferencia General de Pesas y Medidas, la CGPM, como se describe en la Nota Histórica de la Sección 1.8 a continuación *.

El nombre *Systeme International d´Unités* y la abreviatura SI, fueron establecidos por la undécima CGPM en 1960.

El sistema de magnitudes, incluyendo las ecuaciones relacionadas con las magnitudes, para ser usado con el SI, comprende de hecho solamente las magnitudes y ecuaciones de la física que son familiares a todos los científicos, tecnólogos e ingenieros. Ellas están enumeradas en muchos libros de texto y en muchas referencias, pero cualquier lista puede solamente ser una selección de las magnitudes y ecuaciones posibles, la cual es ilimitada. Muchas de las magnitudes, sus nombres y símbolos recomendados, y las ecuaciones relacionadas con ellos, están enumeradas en las normas internacionales ISO 31 e IEC 60027 producidas por el Comité Técnico 12 de la Organización Internacional de Normalización, ISO/TC 12, y por el Comité técnico 25 de la Comisión Internacional Electrotécnica, IEC/TC 25. Las normas ISO 31 e IEC 60027 están al presente siendo revisadas por las dos organizaciones de normalización en colaboración. La norma revisada armonizada será conocida como ISO/IEC 80000, *Magnitudes y Unidades*, en la cual se propone que las magnitudes y ecuaciones usadas con el SI sean conocidas como el Sistema Internacional de Cantidades.

Ejemplos de las ecuaciones relacionando magnitudes usadas en el SI son la ecuación de inercia de Newton que relaciona la fuerza *F,* a la masa *m* y a la aceleración *a,* para una partícula: $F = ma$, y la ecuación que da la energía cinética, *T*, de una partícula que se mueve con velocidad *v* : $T = m\,v^2/2$

Las magnitudes de base usadas en el SI son longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa. Las magnitudes de base se consideran por convención independientes. Las correspondientes unidades de base del SI fueron escogidas por el CGPM para ser el metro, el kilogramo, el segundo, el amperio, el kelvin, la mole y la candela. Las definiciones de estas unidades de base están presentadas en la Sección 2.1.1 del siguiente capítulo. Las unidades derivadas del SI están entonces formadas como productos de potencias de las unidades de base, de acuerdo con las relaciones algébricas que definen las magnitudes derivadas correspondientes en términos de las magnitudes de base, ver Sección 1.4 a continuación.

En raras ocasiones puede surgir una selección entre diferentes formas de las relaciones entre las magnitudes. Un ejemplo importante ocurre al definir las magnitudes electromagnéticas. En este caso las ecuaciones electromagnéticas de magnitud –cuatro racionalizadas usadas con el SI están basadas en longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica. En estas ecuaciones, la constante eléctrica ε_0 (la permisividad del vacío) y la constante magnética μ_0 (la permeabilidad del vacío) tienen dimensiones y valores tales como $\varepsilon_0\mu_0 = 1/ c_0^2$, donde c_0 es la velocidad de la luz en el vacío. La Ley de Coulomb de fuerza electrostática entre dos partículas con cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia *r* se escribe **

$$F = \frac{q_1 q_2 r}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

* Las siglas usadas en este folleto están enumeradas con su significado al final del texto.
** Los símbolos en negrita se utilizan para indicar vectores.

y la ecuación correspondiente para la fuerza magnética entre dos elementos de alambre delgado que llevan corrientes eléctricas, $i_1\, d\boldsymbol{l}_1$ e $i_2\, d\boldsymbol{l}_2$, se escribe

$$d^2 F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_1 dl_1 x(i_2 dl_2 xr)}{r^3}$$

donde $d^2 \boldsymbol{F}$ es la doble diferencial de la fuerza $\boldsymbol{F}$. Estas ecuaciones, en las cuales se basa el SI, son diferentes de aquellas usadas en los sistemas CGS – ESU, CGS – EMU y CGS – Gauss, donde ε_0 y μ_0 son magnitudes adimensionales, escogidas para ser iguales a uno, y en donde se omiten los factores racionalizantes de 4π.

1.3 Dimensiones de magnitudes

Por convención las magnitudes físicas están organizadas en un sistema de dimensiones. Cada una de las siete magnitudes de base usadas en el SI está considerada por tener su propia dimensión, la cual es representada simbólicamente por una sola letra latina mayúscula sin trazos gruesos. Los símbolos usados para las magnitudes de base, y los símbolos usados para indicar su dimensión se dan a continuación.

Magnitudes de base y dimensiones usadas en el SI

Magnitud de base	Símbolo de magnitud	Símbolo para dimensión
longitud	*l, x, r,* etc.	L
masa	*m*	M
tiempo, duración	*t*	T
corriente eléctrica	*l, i*	I
temperatura termodinámica	*T*	Θ
cantidad de sustancia	*n*	N
intensidad luminosa	I_v	J

Los símbolos de magnitud están siempre escritos en letra cursiva y los símbolos para dimensiones en mayúsculas sin trazos gruesos. Para algunas magnitudes puede usarse una variedad de símbolos alternativos, como se indica para longitud y corriente eléctrica.
Anotar que los símbolos para magnitudes son solo *recomendaciones,* en contraste con los símbolos para unidades que aparecen en otra parte en este folleto cuyo estilo y forma son obligatorios (ver el Capítulo 5).
Los símbolos y exponentes dimensionales se manejan usando las reglas ordinarias del álgebra. Por ejemplo, la dimensión de área se escribe como L^2; la dimensión de velocidad como LT^{-1}; la dimensión de fuerza como LMT^{-2}; y la dimensión de energía se escribe como $L^2 MT^{-2}$.

Todas las otras magnitudes son magnitudes derivadas, las que pueden escribirse en términos de las magnitudes de base por las ecuaciones de la física. Las dimensiones de las magnitudes derivadas se escriben como productos de potencias de las dimensiones de las magnitudes de base usando las ecuaciones que relacionan las magnitudes derivadas con las magnitudes de base. En general, la dimensión de una magnitud Q se escribe en la forma de un producto dimensional,

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\varepsilon N^\zeta J^\eta$$

donde los exponentes α, β, γ, δ, ε, ζ y η, los cuales son generalmente pequeños enteros pueden ser positivos, negativos o cero, se conocen como los exponentes dimensionales. La dimensión de una magnitud derivada proporciona la misma información acerca de la relación de esa magnitud con las magnitudes de base y está provista por la unidad SI de la magnitud derivada como un producto de las posibilidades de las unidades de base SI.

Hay algunas magnitudes derivadas *Q* para las cuales la ecuación determinante es tal que todos los exponentes dimensionales en la expresión para la dimensión de *Q* son cero. Esto es verdad, en particular, para cualquier magnitud que está definida como la relación de dos magnitudes de la misma clase. Tales magnitudes se describen como ser *adimensionales*, o alternativamente como ser *de dimensión uno*. La unidad derivada coherente para tales magnitudes adimensionales es siempre el número uno, 1, ya que éste es la relación de dos unidades idénticas para dos magnitudes de la misma clase.

Por ejemplo, el índice de refracción está definido como la relación de la velocidad de la luz en el vacío a aquella en el medio, y es así la relación de dos magnitudes de la misma clase. Es por tanto una magnitud adimensional. Otros ejemplos de magnitudes adimensionales son el ángulo plano, la fracción de masa, la permisividad relativa, la permeabilidad relativa y la finura de una cavidad Fabry – Perot.

Hay también algunas magnitudes que no pueden describirse en términos de las siete magnitudes de base del SI del todo, pero tienen el carácter de una cuenta. Ejemplos son número de moléculas, degeneración en mecánica quantum (el número de estados independientes de la misma energía), y la función de partición en termodinámica estadística (el número de estados térmicamente accesibles). Tales magnitudes de cuenta son también usualmente consideradas como magnitudes adimensionales, o magnitudes de dimensión uno, con la unidad uno, 1.

1.4 Unidades coherentes, unidades derivadas con nombres especiales, y los prefijos del SI

Las unidades derivadas se definen como productos de las posibilidades de las unidades de base. Cuando el producto de posibilidades no incluye un factor numérico diferente de uno, las unidades derivadas se llaman unidades *derivadas coherentes*. Las unidades de base y derivadas coherentes del SI forman un grupo coherente, designado como grupo de *unidades coherentes SI*. La palabra coherente se usa aquí en el siguiente sentido: cuando se usan unidades coherentes, las ecuaciones entre los valores numéricos de las magnitudes toman exactamente la misma forma de las ecuaciones entre las magnitudes por sí mismas. Así si solo se usan unidades de un grupo coherente, los factores de conversión entre unidades no se requieren nunca.

La expresión para la unidad coherente de una magnitud derivada puede obtenerse del producto dimensional de esa magnitud reemplazando el símbolo para cada dimensión por el símbolo de la correspondiente unidad de base.

Como un ejemplo de un nombre especial, la combinación particular de unidades de base m^2 kg s^{-2} para energía recibe el nombre especial julio, símbolo J, donde por definición J = m^2 kg s^{-2}.

Algunas de las unidades derivadas coherentes en el SI adquieren nombres especiales, para simplificar su expresión (ver 2.2.2, Tabla 3). Es importante recalcar que cada magnitud física tiene solo una unidad física coherente, aun si esta unidad puede expresarse en diferentes formas usando algunos de los nombres y símbolos especiales. Lo inverso, sin embargo, no es verdad: en algunos casos la misma unidad SI puede usarse para expresar los valores de varias magnitudes diferentes (ver Tabla 4)

La CGPM, adicionalmente, ha adoptado una serie de prefijos para uso en formar los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades coherentes SI (ver 3.1, donde se enumeran los nombres y símbolos de los prefijos). Estos son convenientes para expresar los valores de las magnitudes que son mucho más grandes o mucho más pequeñas que la unidad coherente. Siguiendo la Recomendación CIPM 1 (1969) éstos adquieren el nombre de *Prefijos SI*. (Estos prefijos se usan también a veces con otras unidades ajenas al SI, como se describe en el capítulo 4 a continuación.) . Sin embargo cuando los prefijos se usan con las unidades SI, las unidades resultantes dejan de ser coherentes, por cuanto un prefijo sobre una unidad derivada efectivamente introduce un factor numérico en la expresión para la unidad derivada en términos de las unidades de base.

La longitud de una adhesión química se da más convenientemente en nanómetros, nm, que en metros, m,; y la distancia de Londres a París se da más convenientemente en kilómetros , km, antes que en metros, m.

Como una excepción, el nombre del kilogramo, el cual es la unidad de base de masa, incluye el prefijo kilo, por razones históricas. A pesar de todo se toma para ser una unidad de base del SI. Los múltiplos y submúltiplos del kilogramo se forman añadiendo nombres de prefijos al nombre de la unidad "gramo", y símbolos de prefijo al símbolo de la unidad "g" (ver 3.2). Así 10^{-6} kg se escribe como un miligramo, mg, no como un microkilogramo, μkg.

El grupo completo de unidades SI, incluyendo tanto el grupo coherente como los múltiplos y submúltiplos de estas unidades formadas combinándolas con los prefijos SI, se designa como el *grupo completo de unidades SI*, o simplemente las *unidades SI,* o las *unidades del SI*. Anotar, sin embargo, que los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI no forman un grupo coherente.

El metro por segundo, símbolo m / s, es la unidad coherente SI de velocidad. El kilómetro por segundo, km/s, el centímetro por segundo, cm/s, y el milímetro por segundo, mm/s, son también unidades SI, pero no son unidades coherentes SI.

1.5 Unidades SI en el marco de la relatividad general

Las definiciones de las unidades de base del SI fueron adoptadas en un contexto que no toma en cuenta efectos relativos. Cuando éstos se toman en cuenta, está claro que las definiciones se aplican solo en un pequeño dominio espacial compartiendo el movimiento de los patrones que los realizan. Estas unidades se conocen como *unidades propias*; éstas se obtienen de experimentos locales en los cuales los efectos relativos que necesitan tomarse en cuenta son aquellos de relatividad especial. Las constantes de la física son magnitudes locales con sus valores expresados en unidades apropiadas.

Las realizaciones físicas de la definición de una unidad son en general comparadas localmente. Para patrones de frecuencia, sin embargo, es posible hacer tales comparaciones a distancia por medio de señales electromagnéticas. Para interpretar los resultados se requiere la teoría de la relatividad general ya que ella predice, entre otras cosas, un período de relativa frecuencia entre los patrones de cerca de 1 parte en 10^{16} por metro de diferencia de altitud en la superficie de la tierra. Los efectos de esta magnitud no pueden ser descuidados cuando se comparen los mejores patrones de frecuencia.

El tema de las unidades propias está expedido en la Resolución A4 adoptada por la XXI Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU) y por el informe del Grupo de Trabajo de CCDS sobre la aplicación de la Relatividad General a la Metrología (*Metrología,*,1997, **34,** 261 – 290)

1.6 Unidades para magnitudes que describen efectos biológicos

Las unidades para magnitudes que describen efectos biológicos son a menudo difíciles de relacionar con unidades del SI por cuanto típicamente contemplan factores de peso que no pueden ser conocidos o definidos con precisión, y pueden ser dependientes tanto de la energía como de la frecuencia. Estas unidades, que no son unidades SI, se describen brevemente en esta sección.

La radiación óptica puede causar cambios químicos en materiales vivientes o no vivientes: esta propiedad se llama *actinismo* y la radiación capaz de causar tales cambios se conoce como *radiación actínica.* En algunos casos, los resultados de mediciones de magnitudes fotoquímicas y fotobiológicas de esta clase pueden expresarse en términos de unidades SI. Esto se discute brevemente en el Apéndice.

El sonido causa pequeñas fluctuaciones de presión en el aire, sobrepuestas a la presión atmosférica normal, que pueden ser sentidas por el oído humano. La sensibilidad del oído depende de la frecuencia del sonido, pero no es una simple función sea de estos cambios de presión o de la frecuencia. Por tanto las magnitudes ponderadas por la frecuencia se usan en acústica para aproximarse a la forma en que se percibe el sonido. Tales magnitudes ponderadas por la frecuencia se emplean, por ejemplo, en el trabajo para proteger contra daños en la audición. Los efectos de las ondas acústicas ultrasónicas presentan intereses similares en el diagnóstico y terapia médicos.

La radiación ionizante deposita energía en la materia irradiada. La relación de energía depositada a la masa se denomina *dosis absorbida*. Altas dosis de radiación ionizante matan a las células, y esto se aplica en la terapia por radiación. Funciones biológicas de peso adecuadas se usan para comparar efectos terapéuticos de diferentes tratamientos por radiación. Dosis bajas sub-letales pueden causar daño a los organismos vivientes, por ejemplo induciendo cáncer. Apropiadas funciones de peso contra riesgos se usan en dosis bajas como la base de reglamentos de protección contra la radiación.

Hay una clase de unidades para cuantificar la actividad biológica de ciertas sustancias usadas en diagnóstico y terapia médicos que sin embargo no pueden definirse en términos de las unidades del SI. Esto pasa por cuanto el mecanismo del efecto biológico específico que da a esas sustancias su uso médico todavía no es suficientemente bien comprendido para ser cuantificable en términos de parámetros físico – químicos. En vista de su importancia para la salud y la seguridad humanas, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha tomado la responsabilidad para definir las unidades internacionales OMS (IU) para la actividad biológica de tales sustancias.

1.7 Legislación sobre unidades

Mediante legislación, los países individuales han establecido reglas concernientes al uso de unidades sobre una base nacional, sea para uso general o para áreas específicas tales como comercio, salud, seguridad pública y educación. En casi todos los países esta legislación se basa en el Sistema Internacional de Unidades.

La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), fundada en 1955, está encargada de la armonización internacional de esta legislación.

1.8 Nota histórica

Los párrafos anteriores de este capítulo dan un breve resumen de la forma en que un sistema de unidades, y el Sistema Internacional de Unidades en particular, se ha establecido. Esta nota da un breve recuento del desarrollo histórico del Sistema Internacional.

La novena CGPM (1948, Resolución 6; CR, 64) ordenó al CIPM:

- estudiar el establecimiento de un grupo completo de reglas para unidades de medición;

- informarse sobre este propósito, por investigación oficial, de la opinión predominante en los círculos científicos, técnicos y educativos en todos los países;

- hacer recomendaciones sobre el establecimiento de un *sistema práctico de unidades de medición* adecuado para adopción por todos los signatarios de la *Convención del Metro.*

La misma CGPM también estableció, en la resolución 7 (CR, 70), principios generales para la escritura de los símbolos de las unidades, y elaboró una lista de algunas unidades derivadas coherentes a las cuales se asignaron nombres especiales.

La décima CGPM (1954, Resolución 6; CR, 87) y la décima-cuarta CGPM (1971, Resolución 3, CR, 78, y *Metrología*, 1972, **8**, 36) adoptaron como unidades de base de este sistema práctico de unidades las unidades de las siguientes siete magnitudes: longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa.

La undécima CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87) adoptó el nombre *Sistema Internacional de Unidades*, con la abreviatura internacional SI, para el sistema práctico de unidades y fijó las reglas para prefijos, unidades derivadas, las anteriores unidades complementarias y otras materias; así estableció una especificación comprensiva para las unidades de medición. Reuniones subsiguientes de la CGPM y del CIPM han aumentado y modificado, cuando ha sido necesario, la estructura original del SI para tomar en cuenta los avances de la ciencia y las necesidades de los usuarios.

La secuencia histórica que conduce a estas importantes decisiones de la CGPM puede resumirse como se indica a continuación.

- La creación del sistema métrico decimal al tiempo de la Revolución Francesa y el subsiguiente depósito de dos patrones de platino que representaban el metro y el kilogramo, el 22 de Junio de 1799, en los Archivos de la República, en París pueden ser vistos como el primer paso en el desarrollo del presente Sistema Internacional de Unidades.

- En 1832, Gauss promovió enérgicamente la aplicación de este sistema métrico, conjuntamente con el segundo definido en astronomía, como un sistema coherente de unidades para las ciencias físicas. Gauss fue el primero en hacer mediciones *absolutas* del campo magnético de la tierra en términos de un sistema decimal basado en las *tres unidades mecánicas* milímetro, gramo y segundo para las magnitudes longitud, masa y tiempo, respectivamente. En años posteriores, Gauss y Weber extendieron estas mediciones para incluir otros fenómenos eléctricos.

- Estas aplicaciones en el campo de la electricidad y el magnetismo fueron además desarrolladas en la década de 1860 bajo la activa conducción de Maxwell y Thomson por medio de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS). Ellos formularon los requisitos para un *sistema coherente de unidades* con unidades *de base* y unidades *derivadas***.** En 1874 la BAAS introdujo el *sistema CGS*, un sistema de unidades coherente en tres dimensiones basado en las tres unidades mecánicas centímetro, gramo y segundo usando prefijos que recorrían de micro a mega para expresar múltiplos y submúltiplos decimales. El desarrollo subsiguiente de la física como una ciencia experimental se ha basado ampliamente en este sistema.

- Los tamaños de las unidades coherentes CGS en los campos de electricidad y magnetismo probaron ser inconvenientes de modo que, en la década de 1880, la BAAS y el Congreso Eléctrico Internacional, predecesor de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), aprobaron un grupo mutuamente coherente de *unidades prácticas.* Entre ellas estuvieron el ohmio para resistencia eléctrica, el voltio para fuerza electromotriz y el amperio para corriente eléctrica.

- Después de la firma de la *Convención del Metro* el 20 de Mayo de 1875, la cual creó el BIPM y estableció la CGPM y el CIPM, comenzó el trabajo sobre la construcción de nuevos prototipos internacionales del metro y el kilogramo. En 1889 la primera CGPM aprobó los prototipos internacionales para el metro y el kilogramo. Conjuntamente con el segundo astronómico como la unidad de tiempo, estas unidades constituyeron un sistema de unidades mecánicas en tres dimensiones similar al sistema CGS, pero con las unidades de base metro, kilogramo y segundo, el sistema MKS.

- En 1901 Giorgi demostró que es posible combinar las unidades mecánicas de este sistema metro-kilogramo-segundo con las unidades eléctricas prácticas para formar un solo sistema coherente de cuatro dimensiones añadiendo a las tres unidades de base una cuarta unidad, de una naturaleza eléctrica tal como el amperio y el ohmio, y redactando de nuevo las ecuaciones presentes en el electromagnetismo en la llamada forma racionalizada. La propuesta de Giorgi abrió el paso a un número de nuevos desarrollos.

- Después de la revisión de la *Convención del Metro* por la sexta CGPM en 1921, la cual extendió el alcance y las responsabilidades del BIPM a otros campos de la física, y la subsiguiente creación del Comité Consultivo para Electricidad (CCE) por la séptima CGPM en 1927, la propuesta de Giorgi fue profundamente discutida por la IEC, la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP), y otras organizaciones internacionales. Esto condujo al CCE a proponer, en 1939, la adopción de un sistema de cuatro dimensiones basado en el metro, kilogramo, segundo y amperio, el sistema MKSA, una propuesta aprobada por el CIPM en 1946.

Siguiendo una investigación internacional por el BIPM, la cual comenzó en 1948, la décima CGPM, en 1954, aprobó la introducción del *amperio*, el *kelvin* y la *candela* como unidades de base para corriente eléctrica, temperatura termodinámica e intensidad luminosa, respectivamente. El nombre *Sistema Internacional de Unidades,* con la abreviatura SI, fue dado al sistema por la undécima CGPM en 1960. En la décima-cuarta CGPM en 1971, después de largas discusiones entre físicos y químicos, la actual versión del SI se completó añadiendo la *mole* como la unidad básica para la cantidad de sustancia, alcanzando el número total de unidades de base a siete.

2. Unidades SI

2.1 Unidades de base SI

Las definiciones formales de todas las unidades de base SI son adoptadas por la CGPM. Las dos primeras definiciones fueron adoptadas en 1889, y la más reciente en 1993. Estas definiciones se modifican de tiempo en tiempo según los avances de la ciencia.

2.1.1 Definiciones

Las definiciones actuales de las unidades de base, como están tomadas de las *Comptes Rendus* (CR) de la correspondiente CGPM, se indican a continuación separadas y en un tipo de trazos gruesos. Las decisiones correspondientes que aclaran estas definiciones pero no son formalmente parte de ellas, como se toman de las *Comptes Rendus* de la correspondiente CGPM o de los *Procès Verbaux* (PV) del CIPM, se presentan también separadas pero en un tipo normal sin trazos gruesos. El texto adicional proporciona notas y explicaciones históricas, pero no forma parte de las definiciones.

Es importante distinguir entre la definición de una unidad y su aplicación. La definición de cada unidad de base del SI es cuidadosamente redactada de modo que sea única y proporcione una firme base teórica sobre la cual pueden hacerse las más precisas y reproducibles mediciones. La aplicación de la definición de una unidad es el procedimiento por el cual la definición puede usarse para establecer el valor y la incertidumbre asociada de una magnitud de la misma clase de la unidad. Una descripción de como se aplican en la práctica las definiciones de algunas unidades importantes está dada en el sitio Web del BIPM,

www.bipm.org/en/si/si brochure/appendix2/.

Una unidad derivada coherente SI se define únicamente en términos de unidades de base SI. Por ejemplo, la unidad derivada coherente SI de resistencia, el ohmio, símbolo Ω, está únicamente definida por la relación $\Omega = m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$, la cual proviene de la definición de la magnitud resistencia eléctrica. Sin embargo, cualquier método consecuente con las leyes de la física podría usarse para aplicar cualquier unidad SI. Por ejemplo, la unidad ohmio puede aplicarse con alta precisión utilizando el efecto “quantum Hall” y el valor de la constante “von Klitzing” recomendados por el CIPM.

Finalmente, debería reconocerse que aunque las siete magnitudes de base – longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa – se consideran por convención como independientes, sus respectivas unidades de base – el metro, kilogramo, segundo, amperio, kelvin, mole y candela – son en un número de instancias interdependientes. Así la definición del metro incorpora el segundo; la definición del amperio incorpora el metro, el kilogramo y el segundo; la definición de la mole incorpora el kilogramo; y la definición de la candela incorpora el metro, el kilogramo y el segundo.

2.1.1.1 Unidad de longitud (metro)

La definición de 1889 del metro, basada en el prototipo internacional de platino-iridio, fue reemplazada por la undécima CGPM (1960) usando una definición basada en la longitud de onda de la radiación de kripton 86. Este cambio fue adoptado con el fin de mejorar la exactitud con la cual podría efectuarse la definición del metro, consiguiéndose la realización usando un interferómetro con un microscopio corredizo para medir la diferencia de paso óptico como se contaran las márgenes. A su turno, ésta fue reemplazada en 1983 por la décima-séptima CGPM (1983, Resolución 1, CR, 97 y *Metrología*, 1984, **20**, 25) que especificó la actual definición, como sigue:

El metro es la longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/ 299 792 458 de segundo

De aquí que la velocidad de la luz en el vacío es exactamente 299 792 458 metros por segundo, c_0 = 299 792 458 m/s.

El símbolo, c_0 (o a veces simplemente c), es el símbolo convencional para la velocidad de la luz en el vacío.

El prototipo internacional original del metro, que fue aprobado por la primera CGPM en 1889 (CR, 34-38) se conserva todavía por el BIPM bajo las condiciones especificadas en 1889.

2.1.1.2 Unidad de masa (kilogramo)

El prototipo internacional del kilogramo, un artefacto hecho de platino – iridio, se conserva por el BIPM bajo la condición especificada por la primera CGPM en 1889 (CR, 34-38) cuando ésta aprobó el prototipo y declaró:

Este prototipo de ahora en adelante se considerará como la unidad de masa.

La tercera CGPM (1901, CR, 70), en una declaración destinada a terminar la ambigüedad en el uso popular relativa al uso de la palabra "peso", confirmó que:

El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo

De aquí que la masa del prototipo internacional del kilogramo es siempre exactamente un kilogramo, *m* (k) = 1 kg. Sin embargo, debido a la inevitable acumulación de contaminantes sobre las superficies, el prototipo internacional está sujeto a contaminación superficial reversible que representa 1 μg por año en masa. Por esta razón, el CIPM declaró que, salvo investigación adicional, la masa de referencia del prototipo internacional es la que se mantiene después de la limpieza y lavado por un método especificado (PV, 1989, **57**, 104-105 y PV, 1990, **58**, 95-97). La masa de referencia así definida se usa para calibrar los patrones nacionales de aleación platino – iridio (*Metrología*, 1994, **31**, 317-336).

El símbolo *m (k),* se usa para indicar la masa del prototipo internacional del kilogramo, *k*.

2.1.1.3 Unidad de tiempo (segundo)

La unidad de tiempo, el segundo, fue en un tiempo considerada 1/86 400 del día solar medio. La definición exacta de "día solar medio" fue dejada a los astrónomos. Sin embargo las mediciones indicaron que irregularidades en la rotación de la tierra hacían insatisfactoria esta definición. Con el fin de definir la unidad de tiempo más precisamente, la undécima CGPM (1960, Resolución 9; CR, 86) adoptó una definición dada por la Unión Astronómica Internacional basada en el año tropical 1900. El trabajo experimental, sin embargo, ya ha demostrado que un patrón atómico de tiempo, basado en la transición entre dos niveles de energía de un átomo o molécula, podría ser aplicado y reproducido con mucha mayor exactitud. Considerando que una definición de la unidad de tiempo muy precisa es indispensable para la ciencia y la tecnología, la décima-tercera CGPM (1967/68, Resolución 1; CR, 103 y *Metrología*, 1968, **4**, 43) reemplazó la definición del segundo por la siguiente:

El segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

De aquí que la escisión hiperfina en el estado fundamental del átomo de cesio 133 es exactamente 9 192 631 770 hertzios, *ν* (hfs Cs) = 9 192 631 770 Hz.

El símbolo, *ν* (hfs Cs) se usa para indicar la frecuencia de la transición hiperfina en el estado fundamental del átomo de cesio.

Esta definición se refiere al átomo de cesio en reposo a una temperatura de 0 K.

Esta indicación fue considerada para aclarar que la definición del SI para el segundo está basada en un átomo de cesio no afectado por la radiación del cuerpo negro, que se presenta en un ambiente cuya temperatura termodinámica es 0 K. Las frecuencias de todos los patrones primarios de frecuencia deberían por tanto ser corregidas para el cambio debido a la radiación ambiental, como se resolvió en la reunión del Comité Consultivo para Tiempo y Frecuencia en 1999.

2.1.1.4 Unidad de corriente eléctrica (amperio)

Las unidades eléctricas, llamadas “unidades internacionales”, para corriente y resistencia fueron introducidas por el Congreso Eléctrico Internacional reunido en Chicago en 1893, y las definiciones del “amperio internacional” y del “ohmio internacional” fueron confirmadas por la Conferencia Internacional en Londres en 1908.

Aunque ya era obvio en la ocasión de la octava CGPM (1933) que había un deseo unánime para reemplazar aquellas “unidades internacionales” por las llamadas “unidades absolutas”,la decisión oficial para abolirlas solo fue tomada por la novena CGPM (1948), la cual adoptó el amperio para la unidad de corriente eléctrica, siguiendo una definición propuesta por el CIPM (1946, Resolución 2; PV, **20**, 129-137):

> **El amperio es la corriente constante que, mantenida en dos conductores rectos paralelos de longitud infinita, de sección transversal circular despreciable y colocados a un metro de distancia el uno del otro en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2 x 10^{-7} newtones por metro de longitud.**

De aquí que la constante magnética, $\mu_{0,}$ también conocida como la permeabilidad del espacio libre, es exactamente 4π x 10^{-7} henrios por metro, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

La expresión “unidad de fuerza MKS” que aparece en el texto original de 1946 ha sido reemplazada aquí por “newton”, un nombre adoptado para esta unidad por la novena CGPM (1948, Resolución 7; CR, 70).

2.1.1.5 Unidad de temperatura termodinámica (kelvin)

La definición de la unidad de temperatura termodinámica fue dada en sustancia por la décima CGPM (1954, Resolución 3, CR, 79) la cual seleccionó el punto triple del agua como el punto fijo fundamental y le asignó la temperatura de 273,16 K, definiendo así la unidad. La décima – tercera CGPM (1967/68, Resolución 3, CR, 104 y *Metrología,* 1968, **4**, 43) adoptaron el nombre kelvin, símbolo K, en vez de “grado Kelvin”, símbolo “K”, y definieron la unidad de temperatura termodinámica como se indica a continuación (1967/68, Resolución 4; CR, 104 y *Metrología*, 1968, **4**, 43):

> **El kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.**

De aquí que la temperatura termodinámica del punto triple del agua es exactamente 273,16 kélvines, $T_{\text{ptw}} = 273{,}16$ K.

El símbolo, T_{tpw}, se usa para indicar la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

En su reunión de 2005, el CIPM afirmó que:

Esta definición se refiere al agua que tenga una composición isotópica definida exactamente por las siguientes relaciones de cantidad de sustancia: 0, 000 155 76 mole de ^{2}H por mole de ^{1}H, 0, 000 379 9 mole de ^{17}O por mole de ^{16}O, y 0, 002 005 2 mole de ^{18}O por mole de ^{16}O.

A causa de la manera en que las escalas de temperatura eran definidas anteriormente, se mantiene la práctica común de expresar una temperatura termodinámica, símbolo T, en términos de su diferencia con la temperatura de referencia T_0 = 273,15 K, el punto de congelación. Esta diferencia se denomina la temperatura Celsius, símbolo t , la cual se define por la ecuación de magnitud:

$$t = T - T_0$$

La unidad de la temperatura Celsius es el grado Celsius, símbolo ºC, el cual es por definición igual en magnitud al kelvin. Una diferencia o intervalo de temperatura puede expresarse en kélvines o en grados Celsius (décima-tercera CGPM, 1967/68, Resolución 3, mencionada anteriormente), siendo el mismo valor numérico de la diferencia de temperatura. Sin embargo, el valor numérico de una temperatura Celsius expresada en grados Celsius, está relacionado con el valor numérico de la temperatura termodinámica expresada en kélvines por la relación

$$t/^\circ\mathrm{C} = T/\mathrm{K} - 273{,}15.$$

El kelvin y el grado Celsius son también unidades de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS – 90) adoptada por el CIPM en 1989 en su Recomendación 5 (CI – 1989; PV, **57**, 115 y *Metrología,* 1990, **27**, 13).

2.1.1.6 Unidad de cantidad de sustancia (mole)

Siguiendo el descubrimiento de las leyes fundamentales de la química, las unidades llamadas, por ejemplo, "gramo – átomo" y "gramo – molécula", se usaron para especificar cantidades de elementos o compuestos químicos. Estas unidades tenían una conexión directa con "pesos atómicos" y "pesos moleculares", los cuales son de hecho masas relativas. Los "pesos atómicos" fueron referidos originalmente al peso atómico del oxígeno, por acuerdo general tomado como 16. Pero por cuanto los físicos separaban los isótopos en un espectrómetro de masa y atribuían el valor 16 a uno de los isótopos del oxígeno, los químicos atribuían el mismo valor a la mezcla (ligeramente variable) de los isótopos 16, 17 y 18, los cuales eran para ellos el elemento naturalmente existente oxígeno. Finalmente un acuerdo entre la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP) y la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) llevó esta dualidad a su fin en 1959/60. Los físicos y los químicos desde entonces siempre han acordado asignar el valor 12, exactamente, al llamado peso atómico del isótopo de carbono con el número de masa 12 (carbono 12, ^{12}C), correctamente denominado la masa atómica relativa A_r (^{12}C). La escala unificada así obtenida da las masas relativas atómicas y moleculares, también conocidas como los pesos atómico y molecular, respectivamente.

El símbolo recomendado para masa atómica relativa (peso atómico) es A_r(X) donde la entidad atómica X debería especificarse, y para la masa molecular relativa de una molécula (peso molecular) es M_r (X), donde la entidad molecular X debería especificarse.

La magnitud usada por los químicos para especificar la cantidad de elementos o compuestos químicos se llama ahora “cantidad de sustancia”. La cantidad de sustancia se define como proporcional al número de entidades elementales especificadas en una muestra, siendo la constante de proporcionalidad una constante universal la cual es la misma para todas las muestras. La unidad de la cantidad de sustancia se llama la *mole,* símbolo mol, y la mole está definida por especificación de la masa de carbono 12 que constituye una mole de átomos de carbono 12. Por acuerdo internacional ésta fue fijada en 0,012 kg, es decir, 12 g.

Siguiendo propuestas de la IUPAP, la IUPAC y la ISO, el CIPM dio una definición de la mole en 1967 y la confirmó en 1969. Esta fue adoptada por la décima-cuarta CGPM (1971), Resolución 3; CR, 78 y *Metrología*, 1972, **8**, 36.

> **1. La mole es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como hay átomos en 0,012 kilogramos de carbono 12. Su símbolo es “mol”.**
>
> **2. Cuando se usa la mole, las entidades elementales deben especificarse y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, o grupos especificados de tales partículas.**

La masa molar de un átomo o molécula X se indica M(X) o M_x, y es la masa por mole de X.

De aquí que la masa molar de carbono 12 es exactamente 12 gramos por mole, $M(^{12}C) = 12$ g/mol.

En 1980 el CIPM aprobó el informe del CCU (1980) el cual especifica que en esta definición se entiende que los átomos sueltos de carbono 12, en reposo y en su estado natural se refieren a ella.

Cuando se cita la definición de mole, es también convencional incluir esta anotación.

La definición de la mole también determina el valor de la constante universal que relaciona el número de entidades a la cantidad de sustancia por una muestra. Esta constante se llama la constante de Avogadro, símbolo N_A o L. Si N(X) e indica el número de entidades X en una muestra especificada, y si n(X) indica la cantidad de sustancia de entidades X en la misma muestra, la relación es

$$n(X) = N(X)/N_A$$

Anotar que ya que N (X) es adimensional, y n (X) tiene la unidad SI mole, la constante de Avogadro tiene la unidad coherente SI recíproca mole.

En el nombre “cantidad de sustancia” , las palabras “de sustancia” podrían por simplicidad reemplazarse por palabras que especifiquen la sustancia contenida en una aplicación particular, de modo que uno pueda, por ejemplo, hablar de “cantidad de cloruro de hidrógeno, HCl”, o “cantidad de benceno, C_6H_6”. Es importante dar siempre una especificación precisa de la entidad comprendida. Aunque la palabra “cantidad” tiene una definición más general en el diccionario, esta reducción del nombre completo “cantidad de sustancia” puede usarse para brevedad. Esto también se aplica a las magnitudes derivadas tales como “cantidad de concentración de sustancia”, la cual puede llamarse simplemente “concentración de cantidad”. Sin embargo, en el campo de química clínica el nombre “cantidad de concentración de sustancia” se reduce generalmente a “concentración de sustancia”.

2.1.17 Unidad de intensidad luminosa (candela)

Las unidades de intensidad luminosa basadas en la llama o patrones de filamento incandescente en uso en varios países antes de 1948 fueron reemplazadas inicialmente por la “nueva bujía” basada en la luminancia de un radiador Planck (un cuerpo negro) a la temperatura de congelación del platino. La modificación fue preparada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) y por el CIPM antes de 1937, y la decisión fue promulgada por el CIPM en 1946. Fue luego ratificada en 1948 por la novena CGPM la cual adoptó un nuevo nombre internacional para la unidad, la *candela,* símbolo cd; en 1967 la décima tercera CGPM (Resolución 5, CR, 104 y *Metrología,* 1968, **4**, 43-44) dio una versión enmendada de esta definición.

En 1979, a causa de las dificultades en realizar un radiador Planck a altas temperaturas, y las nuevas posibilidades ofrecidas por la radiometría, esto es, la medición de potencia de la radiación óptica, la décima-sexta CGPM (1979, Resolución 3, CR, 100 y *Metrología,* 1980, **16**, 56) adoptó una nueva definición de la candela:

> **La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emita radiación monocromática de frecuencia 540 x 10^{12} hertzios y que tenga una intensidad radiante en esa dirección de 1/683 vatios por estéreorradian.**

De aquí que la eficacia luminosa espectral para radiación monocromática de frecuencia de 540 x 10^{12} hertzios es exactamente 683 lumens por vatio, K = 683 lm/W = 683 cd sr/W.

2.1.2 Símbolos para las siete unidades de base.

Las unidades de base del Sistema Internacional están anotadas en la Tabla 1, la cual relaciona la magnitud de base con el nombre de la unidad y el símbolo de la unidad para cada una de las siete unidades de base [décima CGPM (1954, Resolución 6, CR,80); undécima CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87); décima-tercera CGPM (1967/68, Resolución 3; CR, 104 y *Metrología* , 1968, **4***,* 43); décima-cuarta CGPM (1971, Resolución 3; CR, 78 y *Metrología*, 1972, **8**, 36)]

TABLA 1. Unidades de base SI

Magnitud de base		Unidad de base SI	
Nombre	**Símbolo**	**Nombre**	**Símbolo**
longitud	l, h, r, x	metro	m
masa	m	kilogramo	kg
tiempo, duración	t	segundo	s
corriente eléctrica	l, i	amperio	A
Temperatura termodinámica	T	kelvin	K
cantidad de sustancia	n	mole	mol
intensidad luminosa	I_v	candela	cd

Los símbolos para magnitudes son generalmente letras simples de los alfabetos griego o latino, impresas en letra cursiva, y son *recomendaciones.*

Los símbolos para unidades son obligatorios, ver Capítulo 5

2.2 Unidades derivadas SI

Las unidades derivadas son productos de las potencias de las unidades de base. Las unidades de base coherentes son productos de las potencias de las unidades de base que no incluyen otro factor numérico que 1. Las unidades de base y derivadas coherentes del SI forman un grupo coherente, designado como el grupo de *unidades coherentes SI* (ver 1.4)

2.2.1 Unidades derivadas expresadas en términos de unidades de base

El número de magnitudes en la ciencia es ilimitado, y no es posible proporcionar una lista completa de magnitudes derivadas y unidades derivadas. Sin embargo, la Tabla 2 anota algunos ejemplos de magnitudes derivadas y las correspondientes unidades derivadas coherentes expresadas directamente en términos de unidades de base.

TABLA 2. Ejemplos de unidades derivadas coherentes en el SI expresadas en términos de unidades de base

Magnitud derivada		Unidad derivada coherente SI	
Nombre	**Símbolo**	**Nombre**	**Símbolo**
área	A	metro cuadrado	m^2
volumen	V	metro cúbico	m^3
velocidad	v	metro por segundo	m/s
aceleración	α	metro por segundo al cuadrado	m/s^2
número de onda	$\sigma, \tilde{\nu}$	metro recíproco	m^{-1}
densidad de masa	ρ	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
densidad de superficie	ρ_A	kilogramo por metro cuadrado	kg/m^2
volumen específico	v	metro cúbico por kilogramo	m^3/kg
densidad de corriente	j	amperio por metro cuadrado	A/m^2
resistencia de campo magnético	H	amperio por metro	A/ m
concentración magnético	c	mole por metro cúbico	mol/m^3
concentración de masa	ρ, γ	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
luminancia	L_v	candela por metro cuadrado	cd/m^2
índice de refracción	n	uno	1
permeabilidad relativa	μ_r	uno	1

(a) En el campo de química clínica esta magnitud también se llama concentración de sustancia.
(b) Estas son magnitudes adimensionales, o magnitudes de dimensión uno, y el símbolo "1" para la unidad (el número "uno") generalmente se omite al especificar los valores de magnitudes adimensionales

2.2.2 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan nombres y símbolos especiales

Por conveniencia, ciertas unidades derivadas coherentes han recibido nombres y símbolos especiales. Hay 22 de tales unidades, como se anota en la Tabla 3. Estos nombres y símbolos especiales pueden usarse por sí mismos en combinación con los nombres y símbolos de las unidades de base y para otras unidades derivadas para expresar las unidades de otras magnitudes derivadas. Algunos ejemplos se dan en la Tabla 4. Los nombres y símbolos especiales son simplemente una forma compacta para la expresión de combinaciones de unidades de base que se usan frecuentemente, pero en muchos casos ellas también sirven para recordar al lector la magnitud considerada. Los prefijos SI pueden usarse con cualquiera de los nombres y símbolos especiales, pero cuando se hace esto, la unidad resultante ya no es coherente.

Entre estos nombres y símbolos las últimas cuatro entradas de la Tabla 3 son de un tipo particular ya que fueron adoptadas por la décima-quinta CGPM (1975, Resoluciones 8 y 9; CR, 105 y *Metrología*, 1975, **11**, 180), la décima-sexta CGPM (1979, Resolución 5; CR, 100 y *Metrología,* 1980, **16**, 56) y la vigésima-primera CGPM (1999, Resolución 12; CR, 334-335 y *Metrología*, 2000, **37**, 95) específicamente con vista a salvaguardar la salud humana. Tanto en la Tabla 3 como en la Tabla 4 la columna final indica como las unidades SI comprendidas pueden expresarse en términos de unidades de base SI. En esta columna factores tales como m^0, kg^0, etc., que son todos iguales a 1, no se indican explícitamente.

TABLA 3. Unidades derivadas coherentes con nombres y símbolos especiales

Magnitud derivada	Unidad derivada coherente SI [a]			
	Nombre	**Símbolo**	**Expresada en términos de otras unidades de base SI**	**Expresada en términos de unidades de base SI**
ángulo plano	radian[b]	rad	1[b]	m/m
ángulo sólido	estéreorradian[b]	sr[c]	1[b]	m^2/m^2
frecuencia	hertzio[d]	Hz		s^{-1}
fuerza	newton	N		$m\ kg\ s^{-2}$
presión, esfuerzo	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
energía, trabajo cantidad de calor	julio	J	Nm	$m^2\ kg\ s^{-2}$
potencia, flujo radiante	vatio	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
carga eléctrica, cantidad de electricidad	culombio	C		sA
diferencia de potencial eléctrico	voltio	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
fuerza automotriz				
capacitancia	faradio	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
conductancia eléctrica	siemens	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
flujo magnético	weber	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$

Magnitud derivada	Unidad derivada coherente SI [a]			
	Nombre	Símbolo	Expresada en términos de otras unidades de base SI	Expresada en términos de unidades de base SI
densidad de flujo magnético	tesla	T	Wb/m^2	kg s^{-2} A^{-1}
inductancia	henrio	H	Wb/A	m^2 kg s^{-2} A^{-2}
temperatura Celsius	grado Celsius[e]	°C		K
flujo luminoso	lumen	lm	cd sr[c]	cd
luminancia	lux	lx	lm/m^2	m^{-2} cd
actividad referente a un radionuclido[f]	Becquerel[d]	Bq		s^{-1}
dosis absorbida, energía específica (impartida), kerma	gray	Gy	J/kg	m^2 s^{-2}
dosis equivalente, dosis equivalente ambiental , dosis equivalente direccional, dosis equivalente personal	sievert[g]	Sv	J/kg	m^2 s^{-2}
actividad catalítica	katal	kat		s^{-1} mol

(a) Los prefijos SI pueden usarse con cualquiera de los nombres y símbolos especiales, pero cuando se haga esto la unidad resultante ya no será coherente.

(b) Radian y estéreorradian son nombres especiales para el número uno que pueden usarse para transmitir información acerca de la magnitud considerada. En la práctica los símbolos rad y sr se usan donde es adecuado, pero el símbolo para la unidad derivada uno generalmente se omite al especificar los valores de magnitudes adimensionales.

(c) En fotometría el nombre estéreorradian y el símbolo sr se retienen usualmente en expresiones para unidades

(d) El hertzio se usa solamente para fenómenos periódicos, y el becquerel se usa solamente para procesos estocásticos en actividad referente al radionuclido.

(e) El grado Celsius es el nombre especial para el kelvin usado para expresar temperaturas Celsius. El grado Celsius y el kelvin son iguales en tamaño, de modo que el valor numérico de una diferencia de temperatura o un intervalo de temperatura es el mismo cuando se expresa en grados Celsius o en kélvines.

(f) La actividad referida a un radionuclido es a veces incorrectamente llamada radioactividad.

(g) Ver la Recomendación CIPM 2 (CI – 2002), p. 168, sobre el uso del sievert (PV, 2002, **70**, 205)

TABLA 4. Ejemplos de unidades derivadas coherentes SI cuyos nombres y símbolos incluyen unidades derivadas coherentes SI con nombres y símbolos especiales.

Magnitud derivada	Unidad derivada coherente SI		
	Nombre	**Símbolo**	**Expresada en términos de unidades de base SI**
viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa s	m^{-1} kg s^{-1}
momento de fuerza	newton metro	N m	m^2 kg s^{-2}
tensión superficial	newton por metro	N/m	kg s^{-2}
velocidad angular	radian por segundo	rad/s	m m^{-1} s^{-1} = s^{-1}
aceleración angular	radian por segundo al cuadrado	rad/s^2	m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}
densidad de flujo de calor, irradiación	vatio por metro cuadrado	W/m^2	kg s^{-3}
capacidad de calor, entropía	julio por kelvin	J/K	m^2 kg s^{-2} K^{-1}
capacidad específica de calor, entropía específica	julio por kilogramo kelvin	J/(kg K)	m^2 s^{-2} K^{-1}
energía específica	julio por kilogramo	J/kg	m^2 s^{-2}
conductividad térmica	vatio por metro kelvin	W(mK)	m kg s^{-3} K^{-1}
densidad de energía	julio por metro cúbico	J/m^3	m^{-1} kg s^{-2}
resistencia de campo eléctrico	voltio por metro	V/m	m kg s^{-3} A^{-1}
densidad de carga eléctrica	culombio por metro cúbico	C/m^3	m^{-1} s A^{-1}
densidad de carga superficial	culombio por metro cuadrado	C/m^2	m^{-2} s A
densidad de flujo eléctrico desplazamiento eléctrico	culombio por metro cuadrado	C/m^2	m^{-2} s A
permisividad	faradio por metro	F/m	m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2
permeabilidad	henrio por metro	H/m	m kg s^{-2} A^{-2}
energía molar	julio por mole	J/mol	m^2 kg s^{-2} mol^{-1}
entropía molar capacidad de calor molar	julio por mole kelvin	J/(mol K)	m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}
exposición (rayos x y γ)	culombio por kilogramo	C/kg	kg^{-1} s A
índice de dosis absorbida	gray por segundo	Gy/s	m^2 s^{-1}
intensidad radiante	vatio por estéreorradian	W/sr	m^4 m^{-2} kg s^{-1} = m^2 kg s^{-1}
radiación	vatio por metro cuadrado estéreorradian	W/(m^2 sr)	m^2 m^{-2} kg s^{-3} = kg s^{-3}
actividad catalítica	katal por metro cúbico	kat/m^3	m^{-3} s^{-1} mol

Los valores de varias magnitudes diferentes pueden expresarse usando el mismo nombre y símbolo para la unidad SI. Así para la magnitud capacidad de calor como para la magnitud entropía, la unidad SI es el julio por kelvin. Así mismo para la magnitud de base corriente eléctrica tanto como para la magnitud derivada fuerza magnetomotriz, la unidad SI es el amperio. Por tanto es importante no usar la unidad sola para especificar la magnitud. Esto se aplica no solamente a textos científicos y técnicos, sino también, por ejemplo, a instrumentos de medición (esto es, la lectura de un instrumento debería indicar tanto la unidad como la magnitud medida).

Una unidad derivada puede a menudo expresarse en diferentes formas combinando unidades de base con unidades derivadas que tengan nombres especiales. El julio, por ejemplo, puede formalmente escribirse newton metro, o kilogramo metro cuadrado por segundo al cuadrado. Esto, sin embargo, es una libertad algébrica para ser controlada por consideraciones físicas de sentido común; en una situación dada algunas formas pueden ser más convenientes que otras.

En la práctica, con ciertas magnitudes, se da preferencia al uso de ciertos nombres especiales de unidad, o combinaciones de nombres de unidades, para facilitar la distinción entre diferentes magnitudes que tienen la misma dimensión. Cuando se toma esta libertad, uno puede recordar el proceso por el cual se define la magnitud. Por ejemplo, la magnitud momento de torsión puede ser pensada como producto cruzado de fuerza y distancia, sugiriendo la unidad newton metro, o puede ser pensada como energía por ángulo, sugiriendo la unidad julio por radian. La unidad SI de frecuencia está dada como el hertzio, implicando la unidad ciclos por segundo; la unidad SI de velocidad angular se da como el radian por segundo; y la unidad SI de actividad se denomina el becquerel, implicando la unidad cuentas por segundo. Aunque sería formalmente correcto escribir todas estas tres unidades como el segundo recíproco, el uso de diferentes nombres recalca la diferente naturaleza de las magnitudes consideradas. Usando la unidad radian por segundo para velocidad angular, y hertzio para frecuencia, también se recalca que el valor numérico de la velocidad angular en radianes por segundo es 2π veces el valor numérico de la correspondiente frecuencia en hertzios.

En el campo de radiación ionizante, la unidad de actividad se denomina el becquerel antes que el segundo recíproco, y las unidades SI de dosis absorbida y dosis equivalente se denominan el gray y el sievert, respectivamente, antes que el julio por kilogramo. Los nombres especiales becquerel, gray y sievert fueron específicamente introducidos a causa de los peligros para la salud humana que puede surgir de errores que implican a las unidades segundo recíproco o julio por kilogramo, en el caso de que las últimas unidades se tomen incorrectamente para identificar las diferentes magnitudes comprometidas.

El CIPM reconociendo la importancia particular de las unidades relacionadas con el calor, adoptó un texto detallado sobre el sievert para la quinta edición de este folleto. Las recomendaciones 1 (CI – 1984), adoptada por el CIPM (PV, 1984, **52,**31 y *Metrología,* 1985, **21,** 90), y Recomendación 2 (CI – 2002), adoptada por el CIPM (PV, **70,** 205.

2.2.3 Unidades para magnitudes adimensionales, también llamadas magnitudes de dimensión uno.

Ciertas magnitudes se definen como la relación entre dos magnitudes de la misma clase, y así son adimensionales, o tiene una dimensión que puede expresarse por el número uno. La unidad coherente SI de todas estas magnitudes adimensionales, o magnitudes de dimensión uno, es el número uno, ya que la unidad debe ser la relación entre dos magnitudes SI idénticas. Los valores de todas estas magnitudes se expresan simplemente como números, y la unidad uno no se indica explícitamente. Ejemplos de tales magnitudes son el índice de refracción, la permeabilidad relativa y el factor de fricción. Hay también algunas magnitudes que se definen como un producto más complejo de magnitudes más simples de tal modo que el producto es adimensional. Los ejemplos incluyen los "números característicos" como el número Reynolds $Re = \rho v l / \eta$ donde ρ es densidad de masa, η es viscosidad dinámica, v es velocidad, y l es longitud. Para todos estos casos la unidad puede considerarse como el número uno, el cual es la unidad derivada adimensional.

Otra clase de magnitudes adimensionales son los números que representan una cuenta, tales como un número de moléculas, degeneración (número de niveles de energía) y función de partición en termodinámica estadística (número de estados térmicamente accesibles). Todas estas magnitudes de recuento se describen también como magnitudes adimensionales, o de dimensión uno, y se toman para tener la unidad SI uno, aunque la unidad de magnitudes de recuento no puede describirse como una unidad derivada expresada en términos de las unidades de base del SI. Para tales magnitudes, la unidad uno puede en cambio ser considerada como una unidad de base adicional.

En unos pocos casos, sin embargo, se da un nombre especial a la unidad uno, con el fin de facilitar la identificación de la magnitud considerada. Este es el caso del radian y del estéreorradian. El radian y el estéreorradian han sido identificados por el CGPM como nombres especiales para la unidad derivada coherente uno, para usarse en la expresión de valores de ángulo plano y ángulo sólido, respectivamente, y por tanto se incluyen en la Tabla 3.

3. Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI

3.1 Prefijos SI.

La undécima CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87) adoptó una serie de nombres de prefijos y símbolos de prefijos para formar los nombres y símbolos de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI, que se extienden de 10^{12} a 10^{-12}. Prefijos para 10^{-15} y 10^{-18} fueron añadidos por la duodécima CGPM (1964, Resolución 8, CR, 94), para 10^{15} y 10^{18} por la décima-quinta CGPM (1975, Resolución 10; CR, 106 y *Metrología*, 1975, **11**, 180-181) , y para 10^{21}, 10^{24}, 10^{-21} y 10^{-24} por la décima-novena CGPM (1991, Resolución 4; CR, 185 y *Metrología*, 1992, **29**, 3). La Tabla 5 presenta todos los prefijos de nombres y símbolos aprobados.

Estos prefijos SI se refieren estrictamente a las potencias de 10. Ellos no deberían usarse para indicar potencias de 2 (por ejemplo, un kilobit representa 1000 bits y no 1024 bits).

TABLA 5. Prefijos

Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	µ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

La IEC ha adoptado prefijos para potencias binarias en la norma internacional IEC 60027 – 2:2005, tercera edición, *Letras símbolos para usarse en tecnología eléctrica – Parte 2 Telecomunicaciones y Electrónica.* Los nombres y símbolos para los prefijos correspondientes a 2^{10}, 2^{20}, 2^{30}, 2^{40}, 2^{50}, y 2^{60} son, respectivamente: kivi, KI; mebi, Mi; gibi, Gi; tebi, Ti; pebi, Pi y exbi, Ei.Asi, por ejemplo, un kibibyte se escribiría 1 KiB = 2^{10} B = 1024 B, donde B indica un byte. Aunque estos prefijos no son parte del SI, deberían usarse en el campo de la tecnología de la información para evitar el uso incorrecto de los prefijos SI.

Los símbolos de prefijos se imprimen en tipo romano (vertical), como símbolos de unidades, sin tomar en cuenta el tipo usado en el texto contiguo, y se adjuntan a los símbolos de las unidades sin un espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad. Con la excepción de da (deca), h (hecto) y k (kilo), todos los símbolos de prefijos de múltiplos son letras mayúsculas, y todos los símbolos de prefijos de submúltiplos son letras minúsculas. Todos los nombres de prefijos se imprimen en letras minúsculas, excepto al comienzo de una frase.

La agrupación formada por un símbolo de prefijo y un símbolo de unidad constituye un nuevo símbolo de unidad inseparable (formando un múltiplo o submúltiplo de la unidad considerada) que puede elevarse a una potencia positiva o negativa y que puede combinarse con otros símbolos de unidades para formar símbolos compuestos de unidades.

Ejemplos: $2{,}3\ \text{cm}^3 = 2{,}3(\text{cm})^3 = 2{,}3(10^{-2}\text{m})^3 = 2{,}3 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$
$1\ \text{cm}^{-1} = 1(\text{cm})^{-1} = 1(10^{-2}\ \text{m})^{-1} = 10^2\ \text{m}^{-1} = 100\ \text{m}^{-1}$
$1\ \text{V/ cm} = (1\ \text{V})/(10^{-2}\ \text{m}) = 10^2\ \text{V/m} = 100\ \text{V/ m}$
$5000\ \mu\text{s}^{-1} = 5000\ (\mu\text{s})^{-1} = 5000\ (10^{-6}\ \text{s})^{-1} = 5 \times 10^9\ \text{s}^{-1}$

Ejemplos del uso de los prefijos:
pm (picómetro)
mmol (milimole)
GΩ (gigaohmio)
THz (terahertzio)

En forma similar los nombres de prefijos son también inseparables de los nombres de unidades a los cuales están unidos. Así, por ejemplo, milímetro, micropascal y meganewton son palabras simples.

Los símbolos de prefijos compuestos, esto es, los símbolos de prefijos formados por la yuxtaposición de dos o más símbolos de prefijos, no están permitidos. Esta regla también se aplica a los nombres de prefijos compuestos.

nm (nanómetro) *pero no* mµm (milimicrómetro)

Los símbolos de prefijos no pueden presentarse solos ni ser unidos al número 1, el símbolo para la unidad uno. Igualmente, los nombres de prefijos no pueden estar unidos al nombre de la unidad uno, esto es, a la palabra “uno”.

El número de átomos de plomo en la muestra es N (Pb) = 5 x 10^6 , pero no N (Pb) = 5 M, donde M se considera el prefijo mega destacado por sí solo.

Los nombres y símbolos de prefijos se usan con un número de unidades ajenas al SI (Ver Capítulo 5), pero nunca se usan con las unidades de tiempo: minuto, min; hora, h; día, d. Sin embargo los astrónomos usan miliarcosegundo, al cual le abrevian mas, y microarcosegundo, µas, los cuales se usan como unidades para medir ángulos muy pequeños.

3.2 El kilogramo

Entre las unidades de base del Sistema Internacional, el kilogramo es la única cuyo nombre y símbolo, por razones históricas, incluye un prefijo. Los nombres y símbolos para múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa se forman añadiendo los nombres de prefijos al nombre de la unidad "gramo", y los símbolos de prefijos al símbolo de la unidad "g" (CIPM 1967, Recomendación 2, PV, **35**, 29 y *Metrología*, 1968, **4**, 45).

10^{-6} kg = 1 mg
Pero no 1 μkg
(microkilogramo)

4. Unidades ajenas al SI

El Sistema Internacional de Unidades, el SI, es un sistema de unidades, adoptado por el CGPM, el cual proporciona la referencia acordada internacionalmente en cuyos términos todas las otras unidades están ahora definidas. Se lo recomienda para uso general en la ciencia, tecnología, ingeniería y comercio. Las unidades de base SI, y las unidades derivadas coherentes SI, incluyendo aquellas con nombres especiales, tienen la importante ventaja de formar un grupo coherente, con el efecto de que no se requieran las conversiones de unidad cuando se inserten valores particulares para las magnitudes en las ecuaciones de magnitud. Por cuanto el SI es el único sistema de unidades que está reconocido globalmente, también tiene una clara ventaja para establecer un diálogo a nivel mundial. Finalmente, él simplifica la enseñanza de la ciencia y de la tecnología para la siguiente generación si cada uno usa este sistema.

Sin embargo se reconoce que algunas unidades ajenas al SI todavía aparecen en la literatura científica, técnica y comercial, y continuarán usándose por muchos años. Algunas unidades ajenas al SI son de importancia histórica en la literatura establecida. Otras unidades ajenas al SI, tales como las unidades de tiempo y ángulo, están tan profundamente arraigadas en la historia y cultura de la raza humana que continuarán usándose por el futuro previsible. Los científicos individuales deberían tener también la libertad de usar a veces unidades ajenas al SI para las cuales ellos ven una ventaja científica particular en su trabajo. Un ejemplo de esto es el uso de las unidades CGS – Gauss en la teoría electromagnética aplicada a la electrodinámica quantum y la relatividad. Por estas razones es útil enumerar algunas de las más importantes unidades ajenas al SI, como se hace a continuación. Sin embargo, si se usan estas unidades debería entenderse que se pierden las ventajas del SI.

La inclusión de unidades ajenas al SI en este texto no implica que se estimule el uso de estas unidades. Por las razones ya establecidas las unidades SI deben preferirse. También es deseable evitar la combinación de unidades ajenas al SI con unidades SI; en particular, la combinación de unidades ajenas al SI con el SI para formar unidades compuestas debe restringirse a casos especiales con el fin de no comprometer las ventajas del SI. Finalmente, cuando alguna de las unidades ajenas al SI en las tablas 7, 8 y 9 se usa, es buena práctica definir las unidades ajenas al SI en términos de la correspondiente unidad SI.

4.1 Unidades ajenas al SI aceptadas para uso con el SI, y unidades basadas en constantes fundamentales.

El CIPM (2004) ha revisado la clasificación de unidades ajenas al SI de aquella en la edición previa (séptima) de este folleto. La Tabla 6 da las unidades ajenas al SI que son aceptadas para uso con el Sistema Internacional por el CIPM, por cuanto ellas se usan ampliamente en materias de la vida diaria. Se espera que su uso continuará indefinidamente, y cada una tiene una definición exacta en términos de una unidad SI. Las Tablas 7, 8 y 9 contienen unidades que solo se usan en circunstancias especiales. Las unidades de la Tabla 7 están relacionadas con constantes fundamentales, y sus valores deben determinarse experimentalmente. Las Tablas 8 y 9 contienen unidades que tienen valores definidos exactamente en términos de unidades SI, y se usan en circunstancias particulares para satisfacer las necesidades de intereses comerciales, legales o científicos especializados. Es probable que estas unidades continúen en uso por muchos años. Muchas de estas unidades también son importantes para la interpretación de textos científicos antiguos. Cada una de las Tablas 6, 7, 8 y 9 es analizada por turno a continuación.

La Tabla 6 incluye las unidades tradicionales de tiempo y ángulo. También contiene la hectárea, el litro y la tonelada, los cuales están en uso diario común en todo el mundo, y que difieren de la correspondiente unidad coherente SI por una potencia entera de 10. Los prefijos SI se usan con varias de estas unidades, pero no con las unidades de tiempo.

TABLA 6. Unidades ajenas al SI aceptadas para uso con el Sistema Internacional de Unidades

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI
tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora[(a)]	h	1 h = 60 min = 3600 s
	día	d	1 d = 24 h = 86 400 s
ángulo plano	grado[(b,c)]	°	1° = (π / 180) rad
	minuto	′	1′ = (1 / 60)° =(π/10 800) rad
	segundo[(d)]	′′	1′′ = (1/60)′=(π/648 000)rad
área	hectárea[(e)]	ha	1 ha = 1 hm^2 = 10^4 m^2
volumen	Litro[(f)]	L, l	1 L= 1 l = 1 dm^3= $10^3 cm^3$ =$10^{-3} m^3$
masa	Tonelada[(g)]	t	1 t = 10^3 kg

(a) El símbolo para esta unidad está incluido en la Resolución 7 de la novena CGPM (1948, CR, 70.
(b) ISO 31 recomienda que el grado se divida decimalmente antes que usar el minuto y el segundo. Para la navegación y topografía, sin embargo, el minuto tiene la ventaja de que un minuto de latitud sobre la superficie de la tierra corresponde aproximadamente a una milla náutica.
(c) El gon (o grado, donde grado es un nombre alternativo para el gon) es una unidad alternativa de ángulo plano definida como (π/200) rad. Así hay 100 gon en un ángulo recto. El valor potencial del gon en la navegación es que a causa de la distancia del polo al ecuador de la tierra es de aproximadamente 10 000 km, 1 km sobre la superficie de la tierra subtiende un ángulo de un centigon al centro de la tierra. Sin embargo, el gon se usa rara vez.
(d) Para aplicaciones en astronomía, los ángulos pequeños se miden en arcosegundos, es decir, segundos de ángulo plano), indicados como o′′, miliarcosegundos, microarcosegundos o picoarcosegundos, presentados como mas, µas y pas, respectivamente, donde arcosegundo es un nombre alternativo para segundo de ángulo plano.
(e) La unidad hectárea, y su símbolo ha, fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). La hectárea se usa para expresar áreas de terreno.
(f) El litro, y el símbolo l minúscula, fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). El símbolo alternativo L mayúscula, fue adoptado por la décimasexta CGPM (1979, Resolución 6, CR, 101 y *Metrología*, 1980, **16,** 56 – 57) con el fin de evitar el riesgo de confusión entre la letra l (ele) y el número 1 (uno).
(g) La tonelada, y su símbolo *t*, fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). En los países de habla inglesa esta unidad se llama usualmente “tonelada métrica”.

La Tabla 7 contiene unidades cuyos valores en unidades SI han sido determinados experimentalmente, y así tienen una incertidumbre asociada. Excepto para la unidad astronómica, todas las otras unidades de la Tabla 7están relacionadas con las constantes físicas fundamentales. Las primeras tres unidades, las unidades ajenas al SI electronvoltio, símbolo eV, dalton o unidad de masa atómica unificada, símbolo Da o u, respectivamente, y la unidad astronómica, símbolo ua, han sido aceptadas para el uso con el SI por el CIPM. Las unidades de la Tabla 7 desempeñan papeles importantes en un número de campos especializados en los cuales los resultados de las mediciones o cálculos son lo más conveniente y útilmente expresados en estas unidades. Para el electronvoltio y el dalton los valores dependen de la carga elemental e y de la constante de Avogadro N_A, respectivamente.

Hay muchas otras unidades de esta clase, por cuanto hay muchos campos en los cuales es más conveniente expresar los resultados de observaciones experimentales o de cálculos teóricos en términos de constantes fundamentales de naturaleza. Los dos más importantes de tales sistemas de unidades basados en constantes fundamentales son el sistema de unidad natural (u.n.) usado en alta energía o física de partículas, y el sistema de unidad atómica (u.a.) usado en física atómica o química quantum. En el sistema de u.n., las magnitudes de base para mecánica son velocidad, acción y masa, para las cuales las unidades de base son la velocidad de la luz en el vacío c_0, la constante de Planck h dividida por 2π, llamada la constante de Planck reducida con el símbolo $\hbar$, y la masa del electrón m_e, respectivamente. En general estas unidades no reciben nombres o símbolos especiales pero son simplemente llamadas la u.n. de velocidad, símbolo c_0, la u.n. de acción, símbolo $\hbar$, y la u, n. da masa, símbolo m_e. En este sistema, el tiempo es una magnitud derivada y la u.n. de tiempo es una unidad derivada igual a la combinación de unidades de base $\hbar/m_e c_0^2$. Así mismo, en el sistema u.a., cuatro de las cinco magnitudes carga, masa, acción, longitud y energía se toman como magnitudes de base. Las correspondientes unidades de base son la carga elemental e, la masa del electrón m_e, la acción $\hbar$, el radio de Bohr (o bohr) a_0 , y la energía de Hartree (o hartree) E_h , respectivamente. En este sistema, el tiempo es de nuevo una magnitud derivada y la u.a. de tiempo una unidad derivada igual ala combinación de unidades $\hbar/E_h$. Anotar que $a_0 = \alpha /(4\pi R_\infty)$, donde a es la constante de estructura fina y R_∞ es la constante de Rydberg; y $E_h = e^2 /(4\pi\varepsilon_0 a_0) = 2 R_\infty h c_0 = \alpha^2 m_e c_0^2$, donde ε_0 es la constante eléctrica y tiene un valor exacto en el SI.

Para información, estas diez unidades naturales y atómicas y sus valores en unidades SI se presentan también en la Tabla 7. Por cuanto los sistemas de magnitud en los cuales se basan estas unidades difieren tan fundamentalmente de aquellas en las cuales se basa el SI, no se usan generalmente con el SI, y el CIPM no las ha aceptado formalmente para el uso con el Sistema Internacional. Para asegurar la comprensión, el resultado final de una medición o cálculo expresado en unidades naturales o atómicas debería también siempre en las correspondientes unidades SI. Las unidades naturales (n.u.) o unidades atómicas (u.a.) se usan solamente en sus propios campos especiales de física de partículas y atómica, y química de quantum, respectivamente. Las incertidumbres patrón en los dígitos menos significativos se indican entre paréntesis después de cada valor numérico.

TABLA 7. Unidades ajenas al SI cuyos valores en unidades SI deberían obtenerse experimentalmente

magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI [(a)]
Unidades aceptadas para uso con el SI			
energía	electronvoltio[(b)]	eV	1 eV = 1.602 176 53(14)x 10^{19} J
masa	dalton,[(c)]	Da	1 Da = 1.660 538 86(28)x 10^{27} kg
	unidad de masa atómica unificada	u	1 u = 1 Da
longitud	unidad astronómica [(d)]	ua	ua = 1.495 978 706 91(69 X 10^{11} m
Unidades naturales (u. n.)			
velocidad	u. n. de velocidad (velocidad de la luz en el vacío)	c_0	299 792 458 m/s (exacto)
acción	u. n. de acción (constante de Planck reducida)	$\hbar$	1.054 571 68(18) x 10^{-34} Js
masa	u. n. de masa (masa de electrón)	m_e	9.109 3826(16) x 10^{-31} kg
tiempo	u. n. de tiempo	$\hbar/(m_e c_0^2)$	1.288 088 6677 (86)x 10^{-21} s
Unidades atómicas (u. a.)			
carga	u. a. de carga (carga elemental)	e	1.602 176 53(14) x 10^{19} C
masa	u. a. de masa (masa de electrón)	m_e	9.109 3826(16) x 10^{31} kg
acción	u. a. de acción (constante de Planck reducida)	$\hbar$	1. 054 571 68(18) x 10^{-14} Js
longitud	u. a. de longitud, bohr (radio de Bohr)	a_0	0.529 177 2108(18) x 10^{-10} m
energía	u. a. de energía, hartree (energía Hartree)	E_h	4.359 744 17(75) x 10^{-18} J
tiempo	u. a. de tiempo	$\hbar/E_h$	2.418 884 326 505(16) x 10^{-17} s

(a) Los valores en unidades SI de todas las unidades de esta Tabla, excepto la unidad astronómica, están tomadas del grupo 2002 CODATA de valores recomendados de las constantes físicas fundamentales, P. J. Mohr y B. N. Taylor, *Rev. Mod. Phys.*, 2005, **77**, 1- 107. La incertidumbre normal en los dos últimos dígitos se da entre paréntesis (ver 5.3.5, p. 133).

(b) El electronvoltio es la energía cinética adquirida por un electrón al pasar a través de una diferencia potencial de un voltio en el vacío. El electronvoltio se combina a menudo con los prefijos SI.

(c) El dalton (Da) y la unidad de masa atómica unificada (u) son nombres (y símbolos) alternativos para la misma unidad, igual a 1/12 veces la masa de un átomo de carbono 12 libre, en reposo y en su estado natural. El dalton se combina a menudo con prefijos SI, por ejemplo para expresar las masas de grandes moléculas en kilodáltones, kDa, o megadáltones MDa, o expresar los valores de pequeñas diferencias de masa de átomos o moléculas en nanodáltones, nDa, o aun en picodáltones, pDa.

(d) La unidad astronómica es aproximadamente igual a la distancia promedio tierra – sol. Es el radio de una órbita newtoniana circular alrededor del sol de una partícula que tenga una masa infinitesimal, moviéndose con un movimiento promedio de 0,017 202 098 95 radianes por día (conocido como la constante de Gauss) . El valor dado para la unidad astronómica está tomado de las Convenciones IERS 2003 (D.D. Mc Carthy y G. Petit eds. *TechnicalNote IERS* 32, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004, 12). El valor de la unidad astronómica en metros viene de la JPL ephemerides DE 403 (Standish E.M., Report of the IAU WGAS Sub- Group on Numerical Standards, *Highlights in Astronomy*, Appenzeller ed. , Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995, 180 – 184).

Las Tablas 8 y 9 contienen unidades ajenas al SI que se usan por grupos de interés especial por una variedad de diferentes razones. Aunque el uso de las unidades SI debe preferirse por razones ya recalcadas, los autores que ven una ventaja particular en usar estas unidades ajenas al SI deberían tener la libertad para usar las unidades que ellos consideran las más apropiadas para su propósito. Ya que, sin embargo, las unidades SI son el punto de reunión internacional en términos del cual se definen todas las otras unidades, aquellos que usan unidades de las Tablas 8 y 9 deberían siempre dar la definición de las unidades que ellos usan en términos de las unidades SI.

La Tabla 8 también da las unidades de relación logarítmica, el neper, bel y decibel. Estas son unidades adimensionales que son algo diferentes en su naturaleza de otras unidades adimensionales, y algunos científicos consideran que ellas no deberían llamarse unidades. Ellas se usan para trasladar información sobre la naturaleza de la magnitud considerada en relación logarítmica. El neper, Np, se usa para expresar los valores de magnitudes cuyos valores numéricos están basados en el uso del logaritmo neperiano o natural, $\ln = \log_e$. El bel y el decibel, B y dB, donde 1dB = (1/10)B, se usan para expresar los valores de magnitudes en relación logarítmica cuyos valores numéricos están basados en el logaritmo decimal, $\lg = \log_{10}$. La manera en la cual estas unidades se interpretan está indicada en las notas de pie *(g)* y *(h)* de la Tabla 8. Los valores numéricos de estas unidades se requieren muy rara vez. Las unidades neper, bel y decibel han sido aceptadas por el BIPM para uso con el Sistema Internacional pero no se consideran como unidades SI.

Los prefijos SI se usan con dos de las unidades de la Tabla 8, a saber con el bar (por ejemplo, milibar, mbar), y con el bel, específicamente para el decibel, dB. El decibel está presente explícitamente en la Tabla por cuanto el bel se usa rara vez sin el prefijo.

La Tabla 9 difiere de la Tabla 8 solamente en que las unidades de la Tabla 9 están relacionadas al antiguo sistema de unidades CGS (centímetro – gramo – segundo), incluyendo las unidades eléctricas CGS. En el campo de la mecánica, el sistema de unidades CGS fue construido sobre tres magnitudes y sus correspondientes unidades de base: el centímetro, el gramo y el segundo. Las unidades eléctricas CGS fueron todavía derivadas de solamente las mismas tres unidades de base, usando ecuaciones de definición diferentes de las empleadas para el SI. Por cuanto esto puede hacerse en diferentes formas, se conduce al establecimiento de varios sistemas diferentes, a saber el CGS – ESU (electrostático), el CGS – EMU (electromagnético), y el sistema CGS – Gauss de unidades. Siempre se ha reconocido que el sistema CGS – Gauss, en particular, tiene ventajas en ciertas áreas de la física, particularmente en la electrodinámica clásica y relativista (novena CGPM, 1948, Resolución 6). La Tabla 9 da las relaciones entre estas unidades CGS y el SI, y presenta aquellas unidades CGS que recibieron nombres especiales. Como para las unidades de la Tabla 8, los prefijos SI se usan con varias de estas unidades (por ejemplo, milidina, mdin, miligauss, mG, etc.

TABLA 8. Otras unidades ajenas al SI

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI
presión	bar [(a)]	bar	1 bar =0,1 MPa = 100 kPa = 10^5 Pa
	milímetro de mercurio[(b)]	mmHg	1 mmHg = 133. 322 Pa
longitud	ángström[(c)]	Á	1 A = 0,1 mm = 100 pm = 10^{-10} m
distancia	milla náutica[(d)]	M	1 M = 1852 m
área	barn[(e)]	b	1 b = 100 fm^2 = $(10^{-12}$ cm$)^2$ = $10^{-28}m^2$
velocidad	nudo[(f)]	kn	1 kn = (1852/3600) m/s
logarítmica	neper[(g,i)]	Np	[ver la nota de pie (*f*) referente al valor nomérico del neper, el bel y el decibel]
Magnitudes en relación	bel [(h,i)]	B	
	decibel[(h,i)]	dB	

(a) El bar y su símbolo se incluyen en la Resolución 7 de la novena CGPM (1948; CR, 70). Desde 1982 un bar se ha usado como la presión normal para tabular todos los datos termodinámicos. Antes de 1982 la presión normal se consideraba la atmósfera normal, igual a 1,013 25 bares o 101 325 Pa.

(b) El milímetro de mercurio es una unidad legal para la medición de la presión sanguínea en algunos países.

(c) El ángström se usa ampliamente en cristalografía de rayos x y química estructural por cuanto todos los adhesivos químicos se basan en la escala de 1 a 3 ångströms. Sin embargo no tiene la aprobación oficial del CIPM o de la CGPM.

(d) La milla náutica es una unidad especial empleada para la navegación marina y aérea para expresar distancia. El valor convencional dado aquí fue adoptado por la Primera Conferencia Internacional Hidrográfica, Mónaco, 1929, bajo el nombre "milla náutica internacional". Todavía no hay un símbolo acordado internacionalmente, pero los símbolos M, NM, Nm y nmi se usan totalmente; en la Tabla se usa el símbolo M. La unidad fue escogida originalmente, y continúa en uso por cuanto una milla náutica sobre la superficie de la tierra subtiende aproximadamente un minuto de ángulo al centro de la tierra, lo cual es conveniente cuando la latitud y la longitud se miden en grados y minutos de ángulo.

(e) El barn es una unidad de área empleada para expresar secciones transversales en física nuclear

(f) El nudo está definido como una milla náutica por hora. No hay un símbolo acordado internacionalmente, pero el símbolo kn se usa comúnmente.

(g) La declaración $L_A = n$ Np (donde *n* es un número) se interpreta para indicar que ln $(A_2 / A_1) = n$. Así cuando L_A = 1 Np, A_2 / A_1 = e. El símbolo *A* se usa aquí para expresar la amplitud de una señal sinusoidal, y L_A se llama entonces la relación de amplitud del logaritmo neperiano, o la diferencia de nivel de la amplitud neperiana.

(h) La declaración $L_X = m$ dB = $(m/10)$ B (donde *m* es un número) se interpreta para indicar que lg $(X/X_0) = m/10$. Así cuando L_X = 1 B, $X/X_0 = 10$, y cuando L_X = 1 Db, $X/X_0 = 10^{1/10}$. Si *X* indica una señal de cuadrado promedio o una magnitud de potencia, se llama un nivel de potencia referido a X_0.

(i) Al usar estas unidades es importante que se especifique la naturaleza de la magnitud, y que se especifique cualquier valor de referencia usado. Estas unidades no son unidades SI, pero han sido aceptadas por el CIPM para uso con el SI.

(j) El valor numérico del neper, bel y decibel (y de aquí la relación del bel y del decibel al neper) se requieren rara vez. Ellos dependen de la manera en que se definen las magnitudes logarítmicas.

TABLA 9. Unidades ajenas al SI asociadas con el sistema CGS y el sistema CGS - Gauss

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI
energía	ergio[(a)]	erg	1 erg = 10^{-7} J
fuerza	dina[(a)]	dyn	1 dyn = 10^{-5} N
viscosidad dinámica	poise[(a)]	P	1 P = 1 dyn s cm^{-2} = 0,1 Pa s
Viscosidad cinemática	stokes	St	1 St = 1 cm^2 s^{-1} = 10^{-4} m^2 s^{-1}
luminancia	stilb	sb	1 sb = 1 cd cm^{-2} = 10^4 cd m^{-2}
iluminación	fot	ph	1 ph 1 cd sr cm^{-2} = 10^4 lx
aceleración	gal[(b)]	Gal	1 Gal = 1 cm s^{-2} = 10^{-2} m s^{-2}
flujo magnético	Maxwell[(c)]	Mx	1 Mx = 1 G cm^2 = 10^{-8} Wb
densidad de flujo magnético	gauss[(c)]	G	1 G = 1 Mx cm^{-2} = 10^{-4} T
campo magnético	oersted[(c)]	Oe	1 Oe $\triangleq$ (10^3/ 4π) A m^{-1}

(a) Esta unidad y su símbolo fueron incluidos en la Resolución 7 de la novena CGPM (1948; CR, 70)

(b) El gal es una unidad especial de aceleración empleada en geodesia y geofísica para expresar aceleración debida a la gravedad

(c) Estas unidades son parte del llamado sistema CGS tridimensional "electromagnético" basado en ecuaciones de magnitud no racionalizadas, y debe compararse con cuidado a la unidad correspondiente del Sistema Internacional que está basada en ecuaciones racionalizadas que comprenden cuatro dimensiones y cuatro magnitudes para la teoría electromagnética. El flujo magnético, Φ, y la densidad de flujo magnético, B, se definen por ecuaciones similares en el sistema CGS y en el SI, de modo que las unidades correspondientes pueden estar relacionadas como en la tabla. Sin embargo, el campo magnético (no racionalizado), H (no racionalizado) = 4π x H (racionalizado). El símbolo de equivalencia $\triangleq$ se usa para indicar que cuando H (no racionalizado) = 1 Oe, H (racionalizado) = (10^3 / 4π) A m^{-1}.

4.2 Otras unidades ajenas al SI no recomendadas para el uso

Hay muchas más unidades ajenas al SI, las cuales son demasiado numerosas para citarlas aquí, y las cuales son de interés histórico o todavía se usan pero solo en campos especializados (por ejemplo, el barril de petróleo) o en algunos países (la pulgada, el pie y la yarda). El CIPM no ve el caso de continuar usando estas unidades en el trabajo científico y técnico moderno. Sin embargo, es claramente una materia de importancia el ser capaces de recalcar la relación de estas unidades con las correspondientes unidades SI, y esto será verdad por muchos años. El CIPM ha decidido por tanto recopilar una lista de los factores de conversión al SI de tales unidades y ponerla disponible en el sitio Web del BIPM en

www. bipm.org/en/si_brochure/chapter4/conversión_factors.html

5. Escritura de símbolos y nombres de unidades, y expresión de valores de magnitudes

Los principios generales para la escritura de símbolos y números de unidades fueron primero dados por la novena CGPM (1948, Resolución 7). Estos fueron subsiguientemente elaborados por la ISO, IEC, y otros organismos internacionales. Como una consecuencia, ahora existe un consenso general sobre como deberían escribirse símbolos y nombres de unidades, incluyendo los símbolos y nombres de prefijos y como deberían expresarse los valores de magnitudes. El cumplimiento con estas reglas y convenciones de estilo, lo más importante de las cuales se presenta en este capítulo, apoya la legibilidad de documentos científicos y técnicos.

5.1 Símbolos de unidades

Los símbolos de unidades se imprimen en tipo romano (vertical) aparte del tipo usado en el texto contiguo. Se imprimen en letras minúsculas a menos que sean derivados de un nombre propio, en cuyo caso la inicial es una letra mayúscula.

m, metro
s, segundo
Pa, pascal
Ω, ohmio

Una excepción, adoptada por la décima-sexta CGPM (1979, Resolución 6), es que sea L mayúscula o l minúscula se permiten para el litro, con el fin de evitar cualquier posible confusión entre el número 1 (uno) y la letra l minúscula (ele).

L o l, litro

Un prefijo de múltiplo o submúltiplo, si se usa, es parte de la unidad y precede al símbolo de la unidad sin un separador. Un prefijo nunca se usa aisladamente y tampoco se usan prefijos compuestos.

nm, ***no*** mμm

Los símbolos de unidades son entidades matemáticas y no abreviaturas. Por tanto, no están seguidos por un punto excepto al final de una frase, y no se deben usar en plural ni mezclar símbolos y nombres de unidades dentro de una expresión, ya que los nombres no son entidades matemáticas.

75 cm de largo
no 75 cms de largo

culombio por kilogramo,
no culombio por kg

Al formar productos y cocientes de símbolos de unidades se aplican las reglas normales de multiplicación y división algébricas. La multiplicación debe indicarse por un espacio o un punto (centrado) a media altura (·), ya que de otra manera algunos prefijos podrían ser mal interpretados como el símbolo de una unidad. La división se indica por una línea horizontal, por una diagonal (trazo oblicuo, /) o por exponentes negativos. Cuando se combinan varios símbolos de unidades, debe tenerse cuidado de evitar ambigüedades, por ejemplo usando paréntesis o exponentes negativos. Una diagonal no debe usarse más de una vez en una expresión dada sin paréntesis para eliminar ambigüedades.

N m o N · m
Para un newton metro

m/s o $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ o m s^{-1}

para metro por segndo

ms, milisegundo
m s, metro veces segundo

No es admisible usar abreviaturas para símbolos o nombres de unidades, como seg (por s o segundo), mm cuad. (por mm^2 o milímetro cuadrado) , c. c. (por cm^3 o centímetro cúbico) , o mps (por m/s o metro por segundo). El uso de los símbolos correctos para las unidades SI, y para unidades en general, como se indica en los capítulos anteriores de este folleto, es obligatorio. De esta manera se evita ambigüedades y malentendidos en los valores de las magnitudes.

m kg / (s^3 A),
o m kg s^{-3} A^{-1},
pero no m kg /s^3/A,
no m kg /s^3 A.

5.2 Nombres de unidades

Los nombres de unidades se imprimen normalmente en tipo romano (vertical), y se tratan como nombres ordinarios. En español, los nombres de unidades se inician con una letra minúscula (aun cuando el símbolo para la unidad comience con una letra mayúscula), excepto al comienzo de una frase o cuando toda la frase está escrita en mayúsculas, como en un título. Al mantener esta regla, la expresión correcta del nombre de la unidad con el símbolo ºC es "grado Celsius" (la unidad grado comienza con minúscula y el modificador Celsius comienza con mayúscula porque se trata de un nombre propio).

Nombre	**Símbolo**
Joule	J
hertzio	Hz
metro	m
segundo	s
amperio	A
vatio	W

Aunque los valores de magnitudes se expresan normalmente usando símbolos para los números y símbolos para las unidades, si por alguna razón el nombre de la unidad es más apropiado que el símbolo, el nombre de la unidad debe escribirse en su totalidad.

2,6 m/s,
ó 2,6 metros por segundo

Cuando el nombre de una unidad se combina con el nombre de un prefijo de múltiplo o submúltiplo, no se usa un espacio o guión entre el nombre del prefijo y el nombre de la unidad. La combinación del nombre del prefijo más el nombre de la unidad es una sola palabra. Ver también el Capítulo 3, Sección 3.1.

miligramo,
pero no mili - gramo
kilopascal
pero no kilo – pascal

Tanto en inglés como en francés, sin embargo, cuando el nombre de una unidad derivada está formado por los nombres de unidades individuales por multiplicación, se usa entonces un espacio o un guión para separar los nombres de las unidades individuales.

pascal segundo o pascal - segundo

Tanto en inglés como en francés modificadores tales como "al cuadrado" o "al cubo" se usan en los nombres de unidades elevadas a potencias, y se colocan después del nombre de la unidad. Sin embargo, en el caso de área o volumen, como una alternativa los modificadores "cuadrado" o "cúbico" se colocan antes del nombre de la unidad, pero esto se aplica solo en el inglés.

metro por segundo al cuadrado,
centímetro cuadrado,
milímetro cúbico,
amperio por metro cuadrado,
kilogramo por metro cúbico.

5.3 Reglas y convenciones de estilo para expresar valores de magnitudes.

5.3.1 Valor y valor numérico de una magnitud y el uso de cálculo de magnitud.

El valor de una magnitud se expresa como el producto de un número y una unidad, y el número que multiplica la unidad es el valor numérico de la magnitud expresado en esa unidad. El valor numérico de una magnitud depende de la selección de la unidad. Así el valor de una magnitud particular es independiente de la selección de la unidad, aunque el valor numérico será diferente para unidades diferentes.

El mismo valor de una velocidad $v = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t$ de una partícula puede darse sea por las expresiones $v = 25$ m/s $= 90$ km/h, donde 25 es el valor numérico en la unidad metros por segundo, y 90 es el valor numérico en la unidad kilómetros por hora.

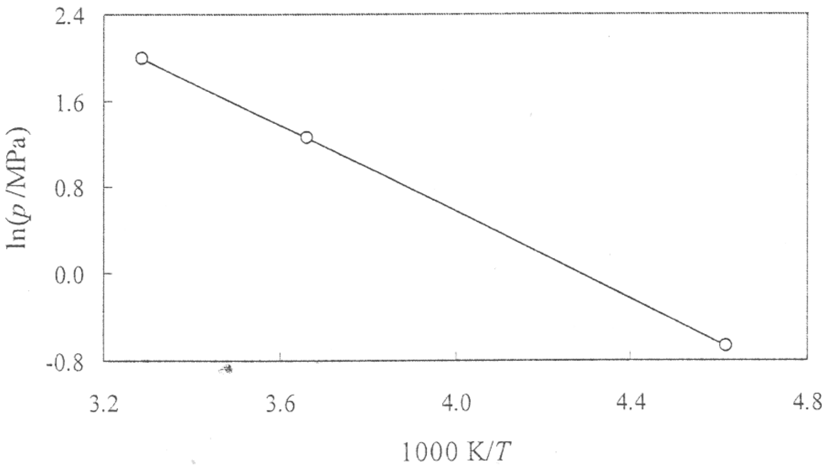
Los símbolos para magnitudes son generalmente letras sueltas presentadas en tipo cursivo, aunque pueden modificarse por datos adicionales en subíndices o superíndices o entre paréntesis. Así C es el símbolo recomendado para capacidad de calor, C_m para capacidad de calor molar, $C_{\mathrm{m},p}$ para capacidad de calor molar a presión constante, y $C_{\mathrm{m},V}$ para capacidad de calor molar a volumen constante.

Los nombres y símbolos recomendados para magnitudes están enumerados en muchas referencias de normas, tales como la norma ISO 31 *Magnitudes y Unidad es*, el Libro Rojo IUPAP SUNAMCO *Símbolos y unidades y Nomenclatura en Física*, y el Libro Verde IUPAC *Cantidades, Unidades y Símbolos en Química Física*. Sin embargo, los símbolos para magnitudes son recomendaciones (en contraste con los símbolos para unidades, para los cuales el uso de la forma correcta es obligatorio). En circunstancias particulares los autores pueden desear el uso de un símbolo de su propia selección para una magnitud, por ejemplo con el fin de evitar un conflicto que surja del uso del mismo símbolo para dos magnitudes diferentes. En tales casos, el significado de un símbolo debe ser claramente manifestado. Sin embargo, ni el nombre de una magnitud, ni el símbolo usado para expresarlo, deben implicar alguna selección particular de la unidad.

Los símbolos para unidades se tratan como entidades matemáticas. Al expresar el valor de una magnitud como el producto de un valor numérico y una unidad, tanto el valor numérico como la unidad pueden tratarse por las reglas ordinarias del álgebra. Este procedimiento está descrito como el uso de cálculo de magnitud, o el álgebra de magnitudes. Por ejemplo, la ecuación $T = 293$ K puede igualmente escribirse T/K = 293. Es a menudo conveniente escribir el cociente de una magnitud y una unidad de esta manera para el encabezamiento de una columna en una tabla, de modo que los ingresos en la tabla sean en todo simplemente números. Por ejemplo, una tabla de presión de vapor contra temperatura recíproca, puede ser presentada como se indica a continuación.

***T*/K**	**10^3 K/T**	***p*/MPa**	**ln(*p*/MPa)**
216,55	4,6179	0,5180	- 0,6578
273,15	3,6610	3,4853	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Los ejes de un gráfico pueden también ser identificados de esta manera, de modo que las marcas o señales sean expresadas solo con números como en el gráfico siguiente.



Formas equivalentes algébricamente pueden usarse en lugar de 10^3 K/T, tales como Kk/T, o 10^3 (T /K)$^{-1}$.

5.3.2 Símbolos de magnitud y símbolos de unidad

Precisamente como el símbolo de la magnitud no implicaría alguna selección particular de la unidad, el símbolo de la unidad no debería usarse para proveer información específica acerca de la magnitud. Las unidades nunca están calificadas por información adicional acerca de la naturaleza de la magnitud; cualquier información extra sobre la naturaleza de la magnitud debería añadirse al símbolo de la magnitud y no al símbolo de la unidad.

Por ejemplo :
La máxima diferencia de potencial eléctrico es $U_{max} = 1000$ V
pero no $U = 1000$ V_{max}
La fracción de masa de cobre en la muestra de silicio es w(Cu) = 1,3 x 10^{-6}
pero no 1,3 x 10^{-6} w/w

5.3.3 Formato del valor de una magnitud

El valor numérico siempre precede a la unidad, y siempre se usa un espacio para separar la unidad del número. Así el valor de la magnitud es el producto del número y la unidad, siendo el espacio considerado como un signo de multiplicación (precisamente como un espacio entre unidades implica multiplicación). Las únicas excepciones a esta regla son para los símbolos de las unidades de grado, minuto y segundo de ángulo plano, º, ´y ´´, respectivamente, para los cuales no se deja espacio entre el valor numérico y el símbolo de la unidad.

m = 12,3 g donde *m* se usa como un símbolo para la magnitud masa, pero

φ = 30° 22´8´´, donde φ se usa como un símbolo para la magnitud ángulo plano.

Esta regla significa que el símbolo ºC para el grado Celsius está precedido por un espacio cuando uno expresa valores de la temperatura Celsius *t*.

t = 30,2 °C,
pero no *t* = 30,2°C,
ni t = 30,2° C.

Aun cuando el valor de una magnitud se usa como un adjetivo, se deja un espacio entre el valor numérico y el símbolo de la unidad. Solo cuando el nombre de la unidad sea deletreado se aplicarían las reglas ordinarias de la gramática, de modo que en inglés se usaría un guión para separar el número de la unidad.

Un resistor de 10 kΩ

una película de 35 - milímetros

En cualquier expresión, solo se usa una unidad. Una excepción a esta regla está en expresar los valores de tiempo y de ángulos planos al usar unidades ajenas al SI. Sin embargo, para ángulos planos es generalmente preferible dividir el grado en decimales. Así uno escribiría 22,20º antes que 22º 12´, excepto en campos tales como navegación, cartografía, astronomía y en la medición de ángulos muy pequeños.

l = 10,234 m
pero no
l =10 m 23,4 cm

5.3.4 Formato de números y el marcador decimal

El símbolo usado para separar la parte entera de un número de su parte decimal se llama el marcador decimal. De acuerdo con la vigésima segunda CGPM (2003, Resolución 10), el marcador decimal "debe ser el punto sobre la línea o la coma sobre la línea". El marcador decimal escogido debería ser el que se acostumbre en el contexto considerado.

Si el número está entre + 1 y – 1, entonces el marcador decimal está siempre precedido por un cero.

- 0,234,
pero no - ,234

De acuerdo con la novena CGPM (1948, Resolución 7) y la vigésima segunda CGPM (2003, Resolución 10), para números con muchos dígitos, los dígitos pueden ser divididos en grupos de tres por un espacio delgado, con el fin de facilitar la lectura. Sin embargo, cuando solo hay cuatro dígitos antes o después del marcador decimal, se acostumbra no usar un espacio para aislar un solo dígito. La práctica de agrupar los dígitos de este modo es una materia de selección; no siempre se sigue en ciertas aplicaciones especializadas tales como dibujos de ingeniería, declaraciones financieras, y escritura para ser leída por una computadora.

43 279, 168 29,
pero no 43.279, 168.29

sea 3279, 1683
o 3 279, 1 68 3

Para números en una tabla, el formato usado no debe variar dentro de una columna.

5.3.5 Expresión de la incertidumbre de medición en el valor de una magnitud

La incertidumbre que está asociada con el valor estimado de una magnitud debería ser evaluada y expresada de acuerdo con la *Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición* [ISO, 1995]. La incertidumbre patrón (esto es, la desviación patrón estimada, factor de alcance $k = 1$) asociada con una magnitud x se expresa por $u(x)$. Una manera conveniente de representar la incertidumbre se da en el siguiente ejemplo:

$$m_n = 1{,}674\ 927\ 28(29) \times 10^{-27}\ \mathrm{kg}.$$

donde m_n es el símbolo para la magnitud (en este caso la masa de un neutrón), y el número entre paréntesis es el valor numérico de la incertidumbre patrón combinada del valor estimado de m_n referido a los últimos dos dígitos del valor citado; en este caso $u(m_n) = 0{,}000\ 000\ 29 \times 10^{-27}$ kg. Si cualquier factor de alcance, k, diferente de 1, es usado, este factor debe ser indicado.

5.3.6 Multiplicación y división de símbolos de magnitud, los valores de magnitudes, o números.

Cunado se multiplica o divide símbolos de magnitud puede usarse cualquiera de los siguientes métodos: ab, $a\ b$, $a \times b$, a/b, $\frac{a}{b}$, $a\ b^{-1}$.

Cuando se multiplica el valor de magnitudes debería usarse sea un signo de multiplicación x o un paréntesis, no el punto (centrado) a media altura. Cuando se multiplican números solo debería usarse el signo de multiplicación x.

Cuando se dividen los valores de magnitudes usando una diagonal (trazo oblicuo), se usan paréntesis para evitar ambigüedades.

Ejemplos:

$F = ma$ para fuerza igual a masa por aceleración

(53 m/s) x 10,2 s
o (53 m/s) (10,2 s)

25 x 60,5
pero no 25 · 60,5

(20 m)/(5 s) = 4 m/s

$(a/b)/c$, **no** $a/b/c$

5.3.7 Declaración de valores de magnitudes adimensionales, o magnitudes de dimensión uno.

Como se discutió en la Sección 2.2.3, la unidad coherente SI para magnitudes adimensionales, también denominadas magnitudes de dimensión uno, es el número uno, símbolo 1. Los valores de tales magnitudes se expresan simplemente como números. El símbolo de unidad 1 o el nombre de unidad "uno" no se indican explícitamente, ni hay símbolos o nombres especiales dados a la unidad uno, aparte de unas pocas excepciones que se indican a continuación. Para la magnitud ángulo plano, la unidad uno recibe el nombre especial de radian, símbolo rad, y para la magnitud ángulo sólido, la unidad uno recibe el nombre especial de estéreorradian, símbolo sr. Para las magnitudes de relación logarítmica, se usan los nombres especiales neper, símbolo Np, bel, símbolo B, y decibel, símbolo dB (ver 4.1 y Tabla 8,).

$n = 1{,}51$,
pero no $n = 1{,}51 \times 1$ donde n es la magnitud símbolo para índice de refracción

Por cuanto los símbolos de prefijos SI no pueden añadirse al símbolo 1 ni al nombre "uno", se usan potencias de 10 para expresar los valores de magnitudes adimensionales particularmente grandes o pequeñas.

En expresiones matemáticas, el símbolo internacionalmente reconocido % (por ciento) puede usarse con el SI para representar el número 0,01. Así, el puede usarse para expresar los valores de magnitudes adimensionales. Cuando se usa, un espacio separa el número del símbolo %. Al expresar los valores de magnitudes adimensionales de esta manera, el símbolo % debería usarse antes que las palabras "por ciento".

$x_B = 0{,}0025 = 0{,}25\ \%$ donde x_B es la **magnitud** símbolo para la fracción de **magnitud** (fracción de mole)de la entidad B.

En el texto escrito, sin embargo, el símbolo % generalmente tiene el significado de "partes por ciento".

El espejo refleja el 95% de los fotones incidentes.

Frases tales como "porcentaje por masa", "porcentaje por volumen", o "porcentaje por cantidad de sustancia" no deberían usarse; la información extra sobre la magnitud más bien debería presentarse con el nombre y símbolo para la magnitud.

$\varphi = 3{,}6$ %
pero no $\varphi = 3{,}6$ % (V/V), donde φ indica fracción de volumen.

Al expresar los valores de fracciones adimensionales (por ejemplo, fracción de masa, fracción de volumen, incertidumbres relativas), el uso de una relación de dos unidades de la misma clase es a veces útil.

$x_B = 2{,}5 \times 10^{-1}$
$= 2{,}5$ mmol/ mol

$u_r(U) = 0{,}3$ µ V / V, donde $u_r(U)$ es la incertidumbre relativa del voltaje medido U.

El término "ppm", que significa el valor relativo 10^{-6}, o 1 en 10^{6}, o partes por millón, también se usa. Esto es análogo al significado de "por ciento" como partes por ciento. Los términos "partes por billón", y "partes por trillón", y sus respectivas abreviaturas "ppb" y "ppt", también se usan pero sus significados son dependientes del idioma. Por esta razón los términos ppb y ppt mejor se evitan. (En los países de habla inglesa, un billón se toma generalmente como 10^{9} y un trillón como 10^{12} ; sin embargo, un billón todavía puede ser interpretado como 10^{12} y un trillón como 10^{18}. La abreviatura ppt, en inglés, se lee a veces como partes por mil, añadiendo confusión adicional).

Cuando se usa alguno de los términos %, ppm, etc., es importante declarar la magnitud adimensional cuyo valor se está especificando.

Apéndice. Unidades para magnitudes fotoquímicas y fotobiológicas.

La radiación óptica es capaz de causar cambios químicos en ciertos materiales vivientes y no vivientes: esta propiedad se llama actinismo, y la radiación capaz de causar tales cambios se conoce como radiación actínica. La radiación actínica tiene como característica fundamental que, a nivel molecular, un fotón interactúa con una molécula para alterar o dividir la molécula en nuevas especies moleculares. Es posible por tanto definir magnitudes específicas fotoquímicas o fotobiológicas en términos del resultado de la radiación óptica sobre los receptores químicos o biológicos asociados.

La definición de magnitudes y unidades fotométricas puede encontrarse en el *Vocabulario Internacional de Iluminación*, publicación de CIE 17.4 (1987) o en el *Vocabulario Internacional Electrotécnico*, publicación IEC 50, capítulo 845, iluminación.

En el campo de la metrología, la única magnitud fotobiológica que ha sido formalmente definida para medición en el SI es para la interacción de la luz con el ojo humano en la visión. Una unidad de base SI, la candela, ha sido definida para esta importante magnitud fotobiológica. Varias otras magnitudes fotométricas con unidades derivadas de la candela también han sido definidas (tales como el lumen y el lux, ver Tabla 3 en el Capítulo 2).

1. Espectro de acción actínica

La radiación óptica puede caracterizarse por su distribución de poder espectral. Los mecanismos por los cuales la radiación óptica es absorbida por los sistemas químicos o biológicos son usualmente complicados, y siempre son dependientes de la longitud de onda (o frecuencia). Para propósitos metrológicos, sin embargo, las complejidades de los mecanismos de absorción pueden ser ignoradas, y el efecto actínico se caracteriza simplemente por un espectro de acción actínica entregando la respuesta fotoquímica o fotobiológica a la radiación incidente. El espectro de acción actínica describe la relativa eficacia de la radiación óptica monocromática a la longitud de onda λ para obtener una respuesta actínica dada. Esta se da en valores relativos, normalizados a 1 para el máximo de eficacia. Usualmente los espectros de acción actínica están definidos y recomendados por las organizaciones internacionales científicas o de normalización.

Para la visión, dos espectros de acción han sido definidos por la CIE y respaldados por el CIPM: $V(\lambda)$ para visión fotópica y $V'(\lambda)$ para visión escotópica. Estos se usan en la medición de magnitudes fotométricas y son una parte implícita de la definición de la unidad SI para fotometría, la candela. La visión fotópica se detecta por los conos sobre la retina del ojo, los cuales son sensibles a un alto nivel de luminancia (L > ca.10 cd m^{-2}) y se usan en la visión de día. La visión escotópica se detecta por los vástagos de la retina, los cuales son sensibles a la luminancia de bajo nivel (L < ca. 10^{-3} cd m^{-2}), usados en la visión de noche. En el campo entre estos niveles de luminancia se usan tanto los conos como los vástagos, y esto se describe como visión mesópica.

Principios que gobiernan la fotometría, *Monografía BIPM*, 1983, 32 pp.

Otros espectros de acción para otros efectos actínicos también han sido definidos por la CIE, tales como el espectro de acción eritémica (enrojecimiento de la piel) por la radiación ultravioleta, pero éstos no han recibido ninguna condición especial por el SI.

2. Medición de magnitudes fotoquímicas o fotobiológicas y sus correspondientes unidades

Las magnitudes fotométricas y las unidades fotométricas que se usan al presente para la visión están bien establecidas y han sido ampliamente usadas por largo tiempo. No están afectadas por las siguientes reglas. Para todas las otras magnitudes fotoquímicas y fotobiológicas deben aplicarse las siguientes reglas para definir las unidades que van a usarse.

Una magnitud fotoquímica o fotobiológica se define en términos puramente físicos como la magnitud derivada de la correspondiente magnitud radiante evaluando la radiación de acuerdo con su acción sobre un receptor selectivo, cuya sensibilidad espectral se defina por el espectro de acción actínica del efecto fotoquímico o fotobiológico considerado. La magnitud está dada por la integral sobre longitud de onda de la distribución espectral de la magnitud radiante cargada por el espectro de acción actínica adecuado. El uso de integrales implícitamente presume una ley de aditividad aritmética para magnitudes actínicas, aunque tal ley no se aplica perfectamente por los efectos actínicos reales. El espectro de acción es una magnitud relativa; es adimensional, con la unidad SI uno. La magnitud radiante tiene la unidad radiométrica correspondiente a esa magnitud. Así, siguiendo la regla para obtener la unidad SI para una magnitud derivada, la unidad de la magnitud fotoquímica o fotobiológica es la unidad radiométrica de la correspondiente magnitud radiante. Cuando se da un valor cuantitativo, es esencial especificar si una magnitud radiométrica o actínica considerada como la unidad es o no es la misma. Si un efecto actínico existe en varios espectros de acción, el espectro de acción usado para medición debe ser claramente especificado.

Este método de definir las unidades para ser usado para magnitudes fotoquímicas o fotobiológicas ha sido recomendado por el Comité Consultivo para Fotometría y Radiometría en su novena reunión en 1977.

Como un ejemplo, la irradiación efectiva eritémica E_{er} de una fuente de radiación ultravioleta se obtiene cargando la irradiación espectral de la radiación en longitud de onda λ por la eficacia de la radiación en esta longitud de onda para causar un eritema, y reuniendo todas las longitudes de onda presentes en el espectro fuente. Esto puede expresarse matemáticamente como

$$E_{er} = \int E_\lambda \, s_{er}(\lambda) \, d\lambda$$

Donde E_λ es la irradiación espectral a la longitud de onda λ (usualmente representada por la unidad SI W m^{-2} nm^{-1}) y s_{er} (λ) es el espectro actínico normalizado a 1 en su máximo valor espectral. La irradiación eritémica E_{er} determinada de esta manera es usualmente representada en la unidad SI W m^{-2}.

TABLAS DE CONVERSIÓN

TABLA A. Longitud

metro m	pulgada plg	pie pie	yarda yd	milla	milla náutica
1	39,37	3,280 8	1,093 6	$0{,}621\,37 \cdot 10^{-3}$	$0{,}539\,96 \cdot 10^{-3}$
$25{,}4 \cdot 10^{-3}$	1	$83{,}333 \cdot 10^{-3}$	$27{,}778 \cdot 10^{-3}$	$15{,}783 \cdot 10^{-6}$	$13{,}715 \cdot 10^{-6}$
0,304 8	12	1	0,333 33	$0{,}189\,39 \cdot 10^{-3}$	$0{,}164\,58 \cdot 10^{-3}$
0,914 4	36	3	1	$0{,}568\,18 \cdot 10^{-3}$	$0{,}493\,74 \cdot 10^{-3}$
$1{,}609\,3 \cdot 10^{3}$	$63{,}36 \cdot 10^{3}$	$5{,}28 \cdot 10^{3}$	$1{,}76 \cdot 10^{3}$	1	0,868 98
$1{,}852 \cdot 10^{3}$	$72{,}913 \cdot 10^{3}$	$6{,}076\,1 \cdot 10^{3}$	$2{,}025\,4 \cdot 10^{3}$	1,150 8	1

1 Å (1 ångström) = 10^{-10} m

TABLA B. Área

m^2	plg^2	pie^2	yd^2	acre	milla cuadrada
1	$1{,}550\,0 \cdot 10^{3}$	10,764	1,196 0	$0{,}247\,10 \cdot 10^{-3}$	$0{,}386\,10 \cdot 10^{-6}$
$0{,}645\,16 \cdot 10^{-3}$	1	$6{,}944\,4 \cdot 10^{-3}$	$0{,}771\,61 \cdot 10^{-3}$	$0{,}159\,42 \cdot 10^{-6}$	$0{,}249\,10 \cdot 10^{-9}$
$92{,}903 \cdot 10^{-3}$	144	1	0,111 11	$22{,}957 \cdot 10^{-6}$	$35{,}870 \cdot 10^{-9}$
0,836 13	$1{,}296 \cdot 10^{3}$	9	1	$0{,}206\,61 \cdot 10^{-3}$	$0{,}322\,83 \cdot 10^{-6}$
$4{,}046\,9 \cdot 10^{3}$	$6{,}272\,6 \cdot 10^{6}$	$43{,}56 \cdot 10^{3}$	$4{,}84 \cdot 10^{3}$	1	$1{,}562\,5 \cdot 10^{-3}$
$2{,}590\,0 \cdot 10^{6}$	$4{,}014\,5 \cdot 10^{9}$	$27{,}878 \cdot 10^{6}$	$3{,}097\,6 \cdot 10^{6}$	640	1

1 ha (1 hectárea) = 10 000 m^2

TABLA C. Volumen

m^3	plg^3	pie^3	yd^3	galón (UK)	galón (US)
1	$61{,}024 \cdot 10^{3}$	35,315	1,308 0	219,97	264,17
$16{,}387 \cdot 10^{-6}$	1	$0{,}578\,70 \cdot 10^{-3}$	$21{,}434 \cdot 10^{-6}$	$3{,}604\,6 \cdot 10^{-3}$	$4{,}329\,0 \cdot 10^{-3}$
$28{,}317 \cdot 10^{-3}$	$1{,}728 \cdot 10^{3}$	1	$37{,}037 \cdot 10^{-3}$	6,228 8	7,480 5
0,764 56	$46{,}656 \cdot 10^{3}$	27	1	168,18	201,97
$4{,}546\,1 \cdot 10^{-3}$	277,42	0,160 54	$5{,}946\,1 \cdot 10^{-3}$	1	1,201 0
$3{,}785\,4 \cdot 10^{-3}$	231	0,133 68	$4{,}951\,1 \cdot 10^{-3}$	0,832 68	1

TABLA D. Velocidad

m/s	km/h	pie/s	milla por hora	nudo
1	3,6	3,280 8	2,236 9	1,943 8
0,277 78	1	0,911 34	0,621 37	0,539 96
0,304 8	1,097 3	1	0,681 82	0,592 48
0,447 04	1,609 3	1,466 7	1	0,868 98
0,514 44	1,852	1,687 8	1,150 8	1

1 nudo = 1 milla náutica por hora

TABLA E. Densidad

kg/m^3	g/cm^3	lb/plg^3	lb/pie^3
1	10^{-3}	$36{,}127 \cdot 10^{-6}$	$62{,}428 \cdot 10^{-3}$
10^3	1	$36{,}127 \cdot 10^{-3}$	62,428
$27{,}680 \cdot 10^3$	27,680	1	$1{,}728 \cdot 10^3$
16,019	$16{,}019 \cdot 10^{-3}$	$0{,}578\ 70 \cdot 10^{-3}$	1

TABLA F. Masa

kg	libra lb	slug	onza oz	quintal cwt	ton (UK)	quintal pequeño sh cwt	tonelada pequeña sh tn
1	2,204 6	$68{,}522 \cdot 10^{-3}$	35,274	$19{,}684 \cdot 10^{-3}$	$0{,}984\ 21.10^{-3}$	$22{,}046 \cdot 10^{-3}$	$1{,}102\ 3 \cdot 10^{-3}$
0,453 59	1	$31{,}081 \cdot 10^{-3}$	16	$8{,}928\ 6 \cdot 10^{-3}$	$0{,}446\ 43 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$05 \cdot 10^{-3}$
14,594	32,174	1	514,79	0,287 27	$14{,}363 \cdot 10^{-3}$	0,321 74	$16.087 \cdot 10^{-3}$
$28{,}350 \cdot 10^{-3}$	$62{,}5 \cdot 10^{-3}$	$1{,}942\ 6 \cdot 10^{-3}$	1	$0{,}558\ 04 \cdot 10^{-3}$	$27{,}902 \cdot 10^{-6}$	$0{,}625 \cdot 10^{-3}$	$31{,}25 \cdot 10^{-6}$
50,802	112	3,481 1	$1{,}792 \cdot 10^3$	1	$50 \cdot 10^{-3}$	1,12	$56 \cdot 10^{-3}$
$1{,}016\ 1 \cdot 10^3$	$2{,}24 \cdot 10^3$	69,621	$35{,}84 \cdot 10^3$	20	1	22,4	1,12
45,359	100	3,108 1	$1{,}6 \cdot 10^3$	0,892 86	$44{,}643 \cdot 10^{-3}$	1	$50 \cdot 10^{-3}$
907,19	$2 \cdot 10^3$	62,162	$32 \cdot 10^3$	17,857	0,892 86	20	1

slug = lbf.s^2 /pie (lbf = libra fuerza)
(1 onza troy = 31, 1035.10^{-3} kg)
ton (UK) se llama tonelada grande en EE.UU.

oz = onza, llamada también onza avoirdupois
cwt = quintal (UK) se llama quintal grande en EE.UU.

TABLA G. Fuerza

N	dina	kilopondio kilogramo fuerza kp,kgf	libra fuerza lbf
1	$0,1 \cdot 10^{6}$	0,101 97	0,224 81
$10 \cdot 10^{-6}$	1	$1,019\ 7 \cdot 10^{-6}$	$2,248\ 1 \cdot 10^{-6}$
9,806 6	$0,980\ 66 \cdot 10^{6}$	1	2,204 6
4,448 2	$0,448\ 82 \cdot 10^{6}$	0,453 59	1

TABLA H. Momento de fuerza

N · m	kp · m	lbf · plg	lbf · pie
1	0,101 97	8,850 8	0,737 56
9,806 6	1	86,796	7,233 0
1,112 99	$11,521 \cdot 10^{-3}$	1	$83,333 \cdot 10^{-3}$
1,355 8	0,138 26	12	1

TABLA I. Energía

julio J	kilovatio hora kW.h	kilopondio metro kp.m	kilocaloría kcal	caballo de fuerza métrico-hora	pie libra fuerza pie.lbf	unidad térmica británica Btu
1	$0,277\ 78 \cdot 10^{-6}$	0,101 97	$0,238\ 85 \cdot 10^{-3}$	$0,377\ 67 \cdot 10^{-6}$	0,737 56	$0,947\ 82 \cdot 10^{-3}$
$3,6 \cdot 10^{6}$	1	$0,367\ 10 \cdot 10^{6}$	859,85	1,359 6	$2,655\ 2 \cdot 10^{6}$	$3,412\ 1 \cdot 10^{3}$
9,806 6	$2,724\ 1 \cdot 10^{-6}$	1	$2,342\ 3 \cdot 10^{-3}$	$3,703\ 7 \cdot 10^{-6}$	7,233 0	$9,294\ 9 \cdot 10^{-3}$
$4,186\ 8 \cdot 10^{3}$	$1,163 \cdot 10^{-3}$	426,94	1	$1,581\ 2 \cdot 10^{-3}$	$3,088\ 0 \cdot 10^{3}$	3,968 3
$2,647\ 8 \cdot 10^{6}$	0,735 50	$0,27 \cdot 10^{6}$	632,42	1	$1,952\ 9 \cdot 10^{6}$	$2,509\ 6 \cdot 10^{3}$
1,355 8	$0,376\ 62 \cdot 10^{-6}$	0,138 26	$0,323\ 83 \cdot 10^{-3}$	$0,512\ 06 \cdot 10^{-6}$	1	$1,285\ 1 \cdot 10^{-3}$
$1,055\ 1 \cdot 10^{3}$	$0,293\ 07 \cdot 10^{-3}$	107,59	0,252 00	$0,398\ 47 \cdot 10^{-3}$	778,17	1

1 ergio = $0,1 \cdot 10^{-6}$ J

TABLA J. Potencia

W	kp.m/s	kcal/s	kcal/h	caballo de potencia métrica	caballo de potencia hp	pie.lbf/s	Btu/h
1	0,101 97	0,238 85 · 10^{-3}	0,859 85	1,359 6 · 10^{-3}	1,341 0 · 10^{-3}	0,737 56	3,412 1
9,806 6	1	2,342 3 · 10^{-3}	8,432 2	13,333 · 10^{-3}	13,151 · 10^{-3}	7,233 0	33,462
4,186 8 · 10^{3}	426,94	1	3,6 · 10^{3}	5,692 5	5,614 6	3,088 0 · 10^{3}	14,286 · 10^{3}
1,163	0,118 59	0,277 78 · 10^{-3}	1	1,581 2 · 10^{-3}	1,559 6 · 10^{-3}	0,857 79	3,968 3
735,50	75	0,175 67	632,42	1	0,986 32	542,48	2,509 6 · 10^{3}
745,70	76,040	0,178 11	641,19	1,013 9	1	550	2,544 4 · 10^{3}
1,355 8	0,138 26	0,323 83 · 10^{-3}	1,165 8	1,843 4 · 10^{-3}	1,818 2 · 10^{-3}	1	4,626 2
0,293 07	29,885 · 10^{-3}	69,999 · 10^{-6}	0,252 00	0,398 47 · 10^{-3}	0,393 02 · 10^{-3}	0,216 16	1

TABLA K. Presión, tensión mecánica (esfuerzo)

Pa	bar	kp/cm^{2} at	kp/mm^{2}	Torr (≈ mm Hg)	atm	lbf/plg^{2} (psi)
1	10 · 10^{-6}	10,197 · 10^{-6}	0,101 97 · 10^{-6}	7,500 6 · 10^{-3}	9,869 2 · 10^{-6}	0,145 04 · 10^{-3}
100 · 10^{3}	1	1,019 7	10,197 · 10^{-3}	750,06	0,986 92	14,504
98,066 · 10^{3}	0,980 66	1	10 · 10^{-3}	735,56	0,967 84	14,223
9,806 6 · 10^{6}	98,066	100	1	73,556 · 10^{3}	96,784	1,422 3 · 10^{3}
133,32	1,333 2 · 10^{-3}	1,359 5 · 10^{-3}	13,595 · 10^{-6}	1	1,315 8 · 10^{-3}	19 337 · 10^{-3}
101,32 · 10^{3}	1,013 2	1,033 2	10,332 · 10^{-3}	760	1	14,696
6,894 8 · 10^{3}	68,948 · 10^{-3}	70,307 · 10^{-3}	0,703 07 · 10^{-3}	51,715	68,046 · 10^{-3}	1

1 mm H_20 ≈ 9,8066 Pa **1 plg H_20 ≈ 249,09 Pa** **1 plg Hg ≈ 3 386,4 Pa**

TABLA L. Temperatura

	Temperatura termodinámica	Temperatura Celsius	Temperatura Rankine	Temperatura Fahrenheit **	Situación física
Valores correspondientes de temperatura	0 K	- 273,15 °C	0 °R	- 459,67 °F	Cero absoluto
	255,372 K	- 17,778 °C	459,67 °R	0 °F	
	273,15 K	0 °C	491,67 °R	32 °F	Temperatura de congelación del agua*
	273,16 K	0,01 °C	491,688 °R	32,018 °F	Temperatura de agua en triple punto
	373,15 K	100 °C	671,67 °R	212 °F	Temperatura de ebullición del agua*
Diferencias correspondientes de temperatura	1 K 0,555 56 K	1 °C 0,555 56 °C	1,8 °R 1 °R	1,8 °F 1 °F	

* Bajo condiciones específicas

** Valor en $°C = \frac{1}{1{,}8}$ (valor en °F - 32)

Lista de siglas usadas en el presente volumen

1. Siglas para laboratorios, comités y conferencias *

BAAS	Asociación Británica para el Avance de la Ciencia
BIH	Bureau International de l´ Heure
BIPM	Buró Internacional de Pesas y Medidas / Bureau International des Poids et Mesures
CARICOM	Comunidad del Caribe
CCAUV	Comité Consultivo para Acústica, Ultrasonido y Vibración/Comité Consultatif de l´ Acoustique, des Ultrasons et des Vibrations
CCDS*	Comité Consultivo para la Definición del Segundo/ Comité Consultatif pour la Definition de la Seconde.
CCE*	Comité Consultivo para Electricidad / Comité Consultatif d´ Electricité, ver CCEM.
CCEM	(anteriormente CCE) Comité Consultivo para Electricidad y Magnetismo / Comité Consultatif d´ Electricité et Magnetisme.
CCL	Comité Consultivo para Longitud / Comité Consultatif des Longueurs.
CCM	Comité Consultivo para Masa y Cantidades Relacionadas / Comité Consultatif pour la Masse et les Grandeurs Aparentées.
CCPR	Comité Consultivo para Fotometría y Radiometría / Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie.
CCQM	Comité Consultivo para Cantidad de Sustancia: Metrología en Química / Comité Consultatif pour la Quantité de Matière: Metrologie en Chimie.
CCRI	Comité Consultivo para Radiación Ionizante / Comité Consultatif des Rayonnements Ionisants.
CCT	Comité Consultivo para Termometría / Comité Consultatif pour Thermometrie.
CCTF	(anteriormente CCDS) Comité Consultivo para Tiempo y Frecuencia / Comité Consultatif du Temps et des Fréquences.
CCU	Comité Consultivo para Unidades / Comité Consultatif des Unités.
CGPM	Conferencia General de Pesas y Medidas / Conference Générale des Poids et Mesures.
CIE	Comisión Internacional sobre Iluminación / Commission Internationale de l´ Eclairage.
CIPM	Comité Internacional de Pesas y Medidas / Comité International des Poids et Mesures.
CODATA	Comité sobre Datos para Ciencia y Tecnología
CR	*Comptes Rendus* de la Conferencia General de Pesa y Medidas, CGPM.
IAU	Unión Astronómica Internacional
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica
ICRU	Comisión Internacional sobre Unidades y Mediciones de Radiación
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional / Commission Electrotechnique Internationale.
IERS	Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia.

* Las organizaciones marcadas con un asterisco o ya no existen u operan bajo una sigla diferente.

ISO Organización Internacional de Normalización
IUPAC Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
IUPAP Unión Internacional de Física Pura y Aplicada
OIML Organización Internacional de Metrología Legal / Organisation Internationale de Métrologie Légale.
PV *Procés Verbaux* del Comité Internacional de Pesas y Medidas, CIPM
SUNAMCO Comisión para Símbolos, Unidades, Nomenclatura, Masas Atómicas y Constantes Fundamentales, IUPAP.
WHO (OMS)Organización Mundial de la Salud.

2. Siglas para términos científicos

CGS Sistema coherente tri-dimensional de unidades basado en las tres unidades mecánicas centímetro, gramo y segundo.
EPT – 76 Escala Provisional de Bajas Temperaturas de 1976 / Echelle Provisoire de température de 1976.
IPTS – 68 Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968.
ITS – 90 Escala Internacional de Temperatura de 1990.
MKS Sistema de unidades basado en las tres unidades mecánicas metro, kilogramo y segundo.
MKSA Sistema cuatri-dimensional de unidades basado en el metro, kilogramo, segundo y amperio.
SI Sistema Internacional de Unidades / Systéme International d´ Unités.
TAI Tiempo Atómico Internacional / Temps Atomique International.
TCG Tiempo Coordinado Geocéntrico / Temps Coordonnée Géocentrique.
TT Tiempo Terrestre.
UTC Tiempo Coordinado Universal.
VSMOW Agua Oceánica Media Patrón de Viena.

* Las organizaciones marcadas con un asterisco o ya no existen u operan bajo una sigla diferente.